

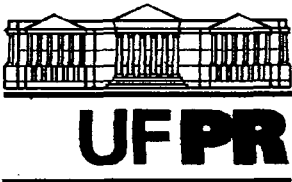
ANDRÉIA CRISTINA FERREIRA

**MONITORAMENTO DA SECAGEM E DESINFECÇÃO DE LODO
ANAERÓBIO EM LEITO DE SECAGEM COM USO DE ESTUFA PLÁSTICA
E BIOGÁS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do Título de Mestre em Ciência do
Solo, Curso de Pós-Graduação em Agronomia,
Departamento de Solos do Setor de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cleverson V. Andreoli
Co-orientadora: Prof. Dr^a. Beatriz M. Serrat
Prevedello

**CURITIBA
2001**



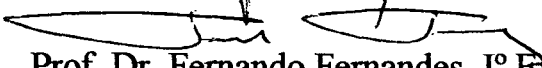
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

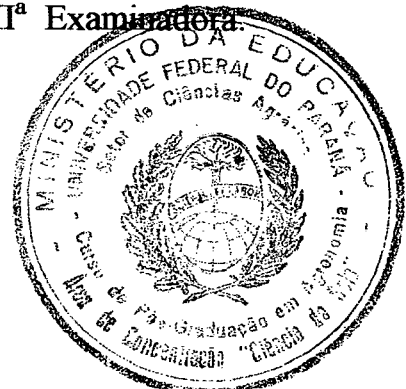
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ANDRÉIA CRISTINA FERREIRA**, com o título: **"Monitoramento da secagem e desinfecção de lodo anaeróbio em leito de secagem com uso de estufa plástica e biogás"** para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 15 de fevereiro de 2001.


Prof. Dr. Cleverson Vitorio Andreoli, Presidente.


Prof. Dr. Fernando Fernandes, 1º Examinador.


Profa. Dra. Beatriz Monte Serrat Prevedello, IIª Examinadora.



DEDICATÓRIA

À minha mãe Luiza Bedim Ferreira
Pelo exemplo de vida e luta

Ao meu pai Luiz Fernando Ferreira
Por ter me dado a alegria de permanecer entre nós

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Aos meus pais, Luiz F. Ferreira e Luiza B. Ferreira, pelo esforço que fizeram para que eu chegasse até aqui. Sintam orgulho, não de mim, mas de sua própria vitória.

Aos meus irmãos Lucimara, Emerson, Adriane e Adriano, meus verdadeiros padrões de união, família e cumplicidade.

Ao meu orientador, chefe e amigo Cleverson Andreoli pela demonstração constante em acreditar no meu trabalho. Uma pessoa que fortaleceu em mim a paixão pela pesquisa e o prazer de fazer o que se gosta.

À professora Beatriz Prevedello, que ao contrário do que pensa, contribuiu imensamente para meu crescimento sobretudo o pessoal, pois é para mim, modelo de caráter, dedicação e acima de tudo padrão de verdadeiro “Mestre”.

À Companhia de Saneamento do Paraná, por ter permitido a instalação do aparato experimental em uma das suas unidades, aos gerentes Ary Haro dos Anjos Jr. e Daniel Francisco Gonçalves, aos Eng^{os} Haroldo Benedito Alves e Vanessa Galperin e à todas as pessoas que colaboraram para o sucesso desse trabalho.

Aos colegas Luiz Ramos de Castro, Claudia Teles, Cinthya Hoppen, Patrícia Bernert e Fabiano Favarin pela boa vontade e inúmeras colaborações ao longo do trabalho.

Ao Eduardo Pegorini, Aderlene Lara e Marilene Lora que transformaram cada riso, piada, brincadeira ou papo sério (não necessariamente nessa ordem) um novo aprendizado.

Aos professores da UFPR Henrique Koeller e Vanete Thomaz Soccol e ao Professor da UEL Fernando Fernandes pelas valiosas contribuições.

Aos colegas de mestrado Charles, Josinei, Sérgio, José e João Manoel pelo apoio, incentivo e amizade.

À Cristina Cherubini, pelo companheirismo, ajuda, noitadas (nem sempre por pura diversão) e interesse demonstrado pelo sucesso desse trabalho.

À Annelissa Gobel Donha e ao André Barbosa da Silva, pela ajuda especial no “grande dia”, e pela convivência, às vezes rara, não porque assim escolhemos, mas porque a vida assim nos conduz.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	04
2.1 OBJETIVO GERAL.....	04
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	04
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
3.1 PRODUÇÃO, ORIGEM E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTO.....	05
3.2 A RECICLAGEM AGRÍCOLA COMO FORMA DE DISPOSIÇÃO FINAL.....	09
3.2.1 Histórico Internacional de Uso.....	11
3.2.2 Reciclagem do Lodo no Brasil.....	13
3.2.3 Potencial Produtivo de Lodo de Esgoto no Paraná.....	14
3.2.4 Riscos Associados à Reciclagem.....	16
3.2.4.1 Metais pesados	17
3.2.4.2 Sanidade.....	20
3.2.4.3 Micropoluentes orgânicos.....	22
3.2.4.4 Nitrogênio	23
3.3 GASES GERADOS NO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO.....	24
3.3.1 Produção de Biogás.....	25

3.3.1.1	Características do biogás.....	26
3.3.2	Aproveitamento do Biogás.....	28
3.4	DESAGUAMENTO DO LODO.....	29
3.4.1	Processos de Desaguamento.....	31
3.4.1.1	Desidratação mecânica.....	31
3.4.1.2	Desidratação natural.....	32
3.4.2	Remoção da Umidade Através de Leitos de Secagem.....	32
3.4.2.1	Leitos de secagem com cobertura plástica.....	34
3.5	HIGIENIZAÇÃO DO LODO.....	35
3.5.1	Agentes Patogênicos.....	37
3.5.1.1	Principais organismos presentes no lodo.....	37
3.5.1.1.1	<i>Vírus</i>	39
3.5.1.1.2	<i>Fungos</i>	39
3.5.1.1.3	<i>Protozoários</i>	40
3.5.1.1.4	<i>Bactérias</i>	40
3.5.1.1.5	<i>Helmintos</i>	41
3.5.2	Processos de Higienização.....	44
3.5.2.1	Desinfecção através da temperatura.....	45
3.6	Solarização.....	48
4	MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.1	LOCAL E CLIMA DO EXPERIMENTO.....	50
4.2	TRATAMENTOS.....	51
4.3	CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL.....	52
4.3.1	Instalação do Biogás.....	54
4.4	PARÂMETROS AVALIADOS E AMOSTRAGEM.....	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	DADOS CLIMÁTICOS.....	59
5.2	AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE PATÓGENOS NOS DIFERENTES TRATAMENTOS.....	59

5.2.1 Testemunha.....	62
5.2.2 Estufa Plástica.....	65
5.2.3 Estufa Plástica com Queima de Biogás.....	66
5.2.4 Solarização.....	68
5.2.5 Estratificação de Ovos de Helminthos em Leito de Secagem.....	70
5.2.6 Avaliação Geral e Comparação dos Diferentes Tratamentos para Redução de Patógenos.....	71
5.3 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA UMIDADE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS.....	73
5.3.1 Testemunha.....	75
5.3.2 Estufa Plástica.....	77
5.3.3 Estufa Plástica com Queima de Biogás.....	79
5.3.4 Solarização.....	82
5.3.5 Avaliação Geral e Comparação dos Diferentes Tratamentos para Redução de Umidade.....	84
6 CONCLUSÕES.....	87
7 RECOMENDAÇÕES.....	88
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ESGOTO	06
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO MÉDIA EM % DE PESO SECO DE LODO, DOS PRINCIPAIS LODOS GERADOS NO PARANÁ (AERÓBIO E ANAERÓBIO).....	10
TABELA 3 - PROJEÇÕES DE USO E DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESGOTO NOS EUA EM 1998 E PROJEÇÕES PARA 2000, 2005 E 2010	13
TABELA 4 - TEORES DE METAIS PESADOS (MG KG-1) EM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS.....	18
TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA DE METAIS EM SOLOS CULTIVADOS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO (MG/KG).....	19
TABELA 6 - CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE POLUENTES NO BIODOSSÍLIDO (MG/KG BASE SECA), COM FINS PARA RECICLAGEM AGRÍCOLA DEFINIDAS PELA SABESP E PELA SANEPAR.....	20
TABELA 7 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS DOS LODOS DE ESGOTOS PRODUZIDOS NO PARANÁ EXPRESSOS EM MG/KG DE MS	20
TABELA 8 - LIMITE DE PATÓGENOS PRESENTES NO LODO DE ESGOTO PARA A RECICLAGEM AGRÍCOLA	22
TABELA 9 – EFICIÊNCIA NO PROCESSO DE SECAGEM DO LODO UTILIZANDO LEITOS CONVENCIONAIS COBERTO E DESCOBERTO E LEITO NÃO-CONVENCIONAL.....	36
TABELA 10 - TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DE ALGUNS PATÓGENOS NO SOLO E SOBRE A SUPERFÍCIE DE PLANTAS.....	42
TABELA 11 - TEMPERATURA E TEMPO DE MANUTENÇÃO PARA A DESTRUIÇÃO DE ALGUNS ORGANISMOS	46
TABELA 12 – DADOS MÉDIOS DE TEMPERATURA, UMIDADE E PRECIPITAÇÃO PARA OS MESES DE NOVEMBRO (1999) JANEIRO E FEVEREIRO (2000)	59
TABELA 13 – VIABILIDADE DE OVOS DE HELMINTOS NOS OITO TRATAMENTOS ESTUDADOS CONSIDERANDO AS TRÊS DESCARGAS REALIZADAS E O PERCENTUAL DE REDUÇÃO EM CADA TRATAMENTO.....	60
TABELA 14 – TEMPERATURA AMBIENTE MÍNIMA E MÁXIMA NOS TRATAMENTOS TESTEMUNHA COM E SEM REVOLVIMENTO.....	63
TABELA 15 – TEMPERATURA MÁXIMA ATINGIDA PELO LODO E INTERIOR DA ESTUFA COM E SEM REVOLVIMENTO.....	65
TABELA 16 – TEMPERATURA MÁXIMA ATINGIDA PELO LODO E INTERIOR DA ESTUFA COM BIOGÁS COM E SEM REVOLVIMENTO.....	67

TABELA 17 – TEMPERATURA MÁXIMA ATINGIDA PELO LODO NOS TRATAMENTOS COM SOLARIZAÇÃO COM E SEM REVOLVIMENTO	68
TABELA 18 – CONTAGEM E VIABILIDADE DE OVOS DE HELMINTOS NOS TRATAMENTOS COM ESTUFA SEM REVOLVIMENTO E ESTUFA COM BIOGÁS SEM REVOLVIMENTO, NAS CAMADAS SUPERFICIAL, MÉDIA E PROFUNDA	71
TABELA 19 – TEORES INICIAIS E FINAIS DE SÓLIDOS NOS OITO TRATAMENTOS ESTUDADOS CONSIDERANDO AS TRÊS DESCARGAS REALIZADAS E O PERCENTUAL DE INCREMENTO EM CADA TRATAMENTO	74

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DA MISTURA GASOSA.....	27
QUADRO 2 - COMPARATIVO DO P.C.I. DO METANO E OUTROS GASES	28

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO ANAERÓBIO COM UNIDADES DE PRÉ-TRATAMENTO E DESAGUAMENTO DO LODO.....	7
FIGURA 2 - FONTES ANTROPOGÊNICAS DE PRODUÇÃO DE METANO.....	25
FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO LODO.....	30
FIGURA 4 - PORCENTAGEM DE OVOS DE HELMINTOS ENCONTRADAS NO LODO DE ESGOTO QUE RECEBEU TRATAMENTO EM RALFS (LODO ANAERÓBIO)....	42
FIGURA 5 - OVO FÉRTIL DE <i>ASCARIS LUMBRICOIDES</i>	43
FIGURA 6 - OVO INFÉRTIL DE <i>ASCARIS LUMBRICOIDES</i>	43
FIGURA 7 - OVO DE <i>TAENIA SP.</i>	43
FIGURA 8 - OVO DE <i>TRICHURIS TRICHIURA</i>	43
FIGURA 9 - TEMPERATURAS DO SOLO SOLARIZADO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM FEVEREIRO DE 1990, EM JAGUARIÚNA, SP.....	48
FIGURA 10 – TEMPERATURA DO SOLO E DO BÍOSSÓLIDO DA ETE – FRANCA UTILIZANDO COLETOR SOLAR, EM DEZEMBRO DE 1999, EM JAGUARIÚNA, SP.....	49
FIGURA 11 - ENTRADA DO REATOR ANAERÓBIO.....	51
FIGURA 12 – ESTUFAS PLÁSTICAS SOBRE O LEITO DE SECAGEM.....	52
FIGURAS 13 E 14 – MOMENTO DA DESCARGA DE LODO E DIVISÓRIA DOS LEITOS DE SECAGEM.....	53
FIGURA 15 - TUBULAÇÃO DO BIOGÁS EM PVC COM SAÍDA DO RALF PARA A ESTUFA.54	
FIGURA 16 - VISTA DO SELO HÍDRICO LOCALIZADO PRÓXIMO À ESTUFA PARA EVITAR O RETORNO DO GÁS AO RALF.....	55
FIGURA 17 - TUBULAÇÃO DE FERRO LOCALIZADA NO INTERIOR DA ESTUFA.....	55
FIGURA 18 – CAPELA DE FERRO COLOCADA SOBRE A CHAMA PARA EVITAR DANIFICAÇÃO NA ESTRUTURA PLÁSTICA.....	57
FIGURA 19 – TEMPERATURAS MÁXIMAS ATINGIDAS PELA MASSA DE LODO NOS TRATAMENTOS TESTEMUNHA COM E SEM REVOLVIMENTO (REVOLVIMENTO).....	63
FIGURA 20 – NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS/G/MS NO LODO SUBMETIDO AOS DIFERENTES TRATAMENTOS.....	72

FIGURA 21 – LEITO DE SECAGEM MOSTRANDO O LODO REVOLVIDO E NÃO REVOLVIDO	77
FIGURA 22 – PERFIL DO LODO DOS TRATAMENTOS COM ESTUFA MOSTRANDO O ASPECTO DO LODO RESOLVIDO E NÃO REVOLVIDO	78
FIGURA 23 – PERFIL MOSTRANDO O ASPECTO DO LODO NOS TRATAMENTOS ESTUFA COM BIOGÁS COM E SEM REVOLVIMENTO E ESTUFA SEM REVOLVIMENTO.....	79
FIGURA 24 – ASPECTO “TORRADO” DO LODO APÓS SOFRER O PROCESSO DE SECAGEM TÉRMICA ATRAVÉS DE ESTUFA E BIOGÁS.....	81
FIGURA 25 – DETALHE MOSTRANDO O ASPECTO DO LODO COM ESTUFA E QUEIMA DE BIOGÁS, PRINCIPALMENTE PRÓXIMO AOS BICOS QUEIMADORES	81
FIGURA 26 – ASPECTO DO LODO NO TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO COM REVOLVIMENTO, MOSTRANDO A QUANTIDADE DE ÁGUA ACUMULADA NO LODO	83

RESUMO

Para que o lodo seja utilizado com segurança como fertilizante agrícola, é necessário processá-lo corretamente. Normalmente, esses processos envolvem práticas de desaguamento, estabilização/higienização. O primeiro é indispensável para otimizar as práticas de manejo do lodo para a secagem do material, reduzindo consideravelmente o volume e melhorando o transporte. O processo de higienização reduz a quantidade de patógenos presentes no biossólido.

Este trabalho mostra os resultados do estudo com o uso de estufas plásticas sobre os leitos de secagem, aliados à injeção de calor através dos gases gerados no próprio processo de tratamento do esgoto (biogás), associado ao processo de revolvimento, mostraram-se eficientes na redução do período necessário para a secagem do lodo, diminuindo o tempo de permanência do lodo dentro dos leitos de secagem.

Os tratamentos com uso de estufa plástica e estufa aliada à queima de biogás, apresentaram os maiores teores de sólidos totais no lodo que os demais, alcançando um teor médio aproximado de 71,00% de sólidos totais, com valores variando de 52,12% à 84,44% para a primeira e segunda descargas. Já na terceira descarga, os teores de sólidos foram um pouco mais baixos, com média aproximada de 55,45%, com valores variando de 39,8% à 68,30%.

Os tratamentos com solarização com e sem revolvimento, apresentaram valores menores em relação ao teor de sólidos totais, pois a presença do filme plástico sobre a camada de lodo impossibilitou a liberação da água através da evaporação para a atmosfera, fazendo com que a água fosse incorporada novamente à massa de lodo. Em relação à redução da viabilidade de ovos de helmintos, na primeira descarga os tratamentos utilizando solarização com e sem revolvimento foram os mais eficientes, apresentando 0,34 e 1,44 ovos/ g/ MS após 28 dias de experimento, apresentando um percentual de redução de 97,48% e 89,33% respectivamente. Na segunda descarga, os tratamentos com estufa plástica e biogás com e sem revolvimento destacaram-se dos demais apresentando 5,06 e 3,99 ovos g/ MS, alcançando uma redução de 89,84% e 92,00% respectivamente. Já na terceira descarga os três melhores resultados obtidos foram os tratamentos utilizando estufa associada ao biogás, solarização com e sem revolvimento com 9,05, 9,33 e 7,91 ovos/g/MS com uma redução de 84,51%, 84,03% e 86,46% respectivamente.

Estes valores ainda não atendem as normatizações internacionais, nem a Instrução Normativa proposta pelo Estado do Paraná que preconizam 0,25 ovos viáveis/g/MS, porém, alguns dos valores chegam muito próximo ao estabelecido, mostrando com isso, que o experimento se mostrou eficiente ao objetivo proposto que era o de diminuir o número de ovos de helmintos viáveis presentes no lodo.

ABSTRACT

The agricultural recycling of biosolids have been considered the best option for the final biosolids disposal all over the world, mainly because of its environmental assurance. In order to assure its safe use as a fertilizer for crop fields, it is necessary to submit it under adequate process. Normally, this process involves dewatering and stabilization/hygienization practices. The first is the material, the volume of wich can be considerably reduced, improving transport. The hygienization process reduces the pathogenic polluting potential of biosolids

This paper presents the results of a study with the use of greenhouse structures on the beds, heat produced with the combustion of gases from the sewage treatment process (BIOGAS), and revolving, making it possible to reduce the period of statement of biosolids on the beds and improve its sanitary profile.

The treatments with greenhouse structure and biogas heat have presented the highest total solids contents among all treatments. The solarization treatment, with and without revolving, presented the least solids content, probably because the plastic film over the sludge prevented losses of water from the evaporating process.

In the first blow-off, the helminth eggs viability of the solarization treatments was the least one. The revolving practice did not influence the results: 0,34 and 1,44 eggs/ g of dry matter, 28 days after the experiment. These indexes do not meet international regulations, and not even the Normative Instruction for Paraná State (1 egg in 4 g of dry matter), but they show that the process is efficient and could be improved to meet these indexes. In the second blow-off, the treatments with greenhouse structure and biogas heat stood out from the other ones presenting 5,06 and 3,99 eggs/g d.m. In the third blow-off, the results with the association of greenhouse and biogas stood out from that of solarization, with and without revolving. The indexes were: 9,05; 9,33 and 7,91 eggs/g d.m., respectively.

These results do not meet international regulations, and neither the Normative Instruction created in Paraná to regulate the use of biosolids in agriculture. But they show that the process has potential for reducing the contents of photogenic organisms in sewage sludge.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho avalia os efeitos do aumento da temperatura obtido através da queima de biogás e do aproveitamento da energia solar aplicado sobre o lodo de esgoto em leitos de secagem em estações de tratamento de esgoto visando o processamento e uso agrícola do lodo, relacionados à redução de patógenos, especificamente ovos de helmintos e a secagem do lodo de esgoto digerido anaerobiamente, com a finalidade de obter um produto que poderá ser utilizado com segurança como fertilizante agrícola, além de diminuir os custos dos leitos de secagem e de transporte do material.

O uso do lodo na agricultura é a alternativa de disposição final que apresenta menores impactos ambientais negativos, desde que sejam observados o conteúdo de metais pesados, lixiviação de nitrogênio e sua eficácia no sistema de higienização. Sua utilização é muito promissora, pois contém nutrientes essenciais para a sobrevivência das plantas como o fósforo, potássio, nitrogênio, matéria orgânica e nutrientes e tem sido praticada em muitos países desenvolvidos como solução mais adequada à destinação do produto.

Entretanto, para a efetivação de seu uso como fertilizante e condicionante do solo, precauções devem ser tomadas para evitar a perda de nutrientes, principalmente para que os organismos patogênicos e os constituintes tóxicos do lodo não contaminem o ambiente, não reduzam a produtividade do solo e não comprometam a qualidade das culturas para alimentação animal e humana (ANDREOLI *et al.*, 1994).

Para que o mesmo seja utilizado com segurança como fertilizante agrícola deve-se processá-lo corretamente, através dos processos de desinfecção e secagem, constituindo dessa maneira uma solução adequada para a destinação final, através da ciclagem de nutrientes no ecossistema.

O aumento populacional e a crescente industrialização são fatores que promovem o agravamento da problemática de produção de resíduos sólidos urbanos, que mesmo após sofrerem tratamento, ainda apresentam potencial poluidor e

contaminação por organismos patogênicos. Seu manejo inadequado contribui significativamente para a degradação da qualidade ambiental, podendo se tornar, sem os devidos cuidados, num dos maiores poluidores do solo, da água, do ar e ainda oferecer riscos à saúde pública (FILHO, 1999).

Conforme definido pela Agenda 21 (ONU,1995), o manejo ambientalmente adequado dos resíduos sólidos e das águas estão entre os assuntos ambientais mais relevantes na manutenção da qualidade do meio ambiente e especialmente na busca do desenvolvimento sustentável. Este documento apresenta ainda, como programas mais importantes a minimização de resíduos, a maximização do reuso e da reciclagem ambientalmente adequada, a promoção da disposição e tratamento dos resíduos e a extensão dos sistemas e serviços de coleta, gestão e tratamento de resíduos à população

A produção e a estabilização do lodo de esgoto se dão em meio líquido, o que resulta em um produto com alto teor de umidade, normalmente maiores que 96%. Além disto, apresenta elevados teores de nutrientes e patógenos, o que os tornam altamente poluentes e contaminantes. Assim, para uma disposição adequada do produto, deve-se considerar um processo que alie com eficiência a inativação dos ovos de helmintos e a secagem adequada do produto, para que sua aplicação no solo torne-se ambiental, agrônômica e economicamente viável.

Os leitos de secagem são geralmente alternativas adotadas para pequenos sistemas, enquanto os processos mecânicos, tais como prensas, centrífugas, secadores térmicos, etc., normalmente são utilizados para sistemas maiores. Assim, torna-se viável o uso de leitos de secagem pelo baixo nível de investimento, especialmente quando a otimização do processo em leitos através da aceleração da secagem ou da redução no tempo de permanência do lodo dentro dos leitos, utilizando energia produzida na própria estação, resultam na redução do número de leitos e necessidade de menor espaço físico.

Segundo EPA (1991), as taxas de inativação dos microrganismos variam com o tipo de organismos e sua condição, método de aplicação do lodo, grau de predação,

competição com outros organismos, condições atmosféricas e a composição físico-química do solo. Devido às diferenças destes fatores, observa-se uma grande variação nos períodos de sobrevivência dos patógenos no solo. Alguns processos de tratamento do lodo podem ser empregados para o controle de patógenos e redução de vetores, como: compostagem, pasteurização, digestão aeróbia, digestão anaeróbia, radiação gama, radiação beta, hipercloração, inergização pela cal e secagem térmica (EPA, 1992). A eficiência destes métodos depende da natureza do patógeno existente no lodo bem como da qualidade operacional dos mesmos.

Baseado nessas justificativas, este trabalho consistiu no monitoramento da temperatura e do tempo, na secagem de lodo digerido anaerobiamente em escala real, através do uso de estufa plástica sobre leito de secagem, revolvimento da massa de lodo e injeção de calor a partir dos gases gerados no processo de tratamento de esgoto através de RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado) e sobre a influência desses processos na redução de patógenos (viabilidade de ovos de helmintos), determinando o uso seguro do produto como fertilizante agrícola e descaracterizando seu papel de agente veiculador de doenças.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Monitorar as alternativas tecnológicas com uso de energia alternativa associando os processos de secagem e desinfecção do lodo de esgoto digerido anaerobiamente, visando o alcance de níveis de qualidade sanitária e umidade que viabiliza o seu uso agrícola.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Monitorar a influência dos fatores temperatura e tempo na variação da umidade e desinfecção de lodo de esgoto digerido anaerobiamente em escala real, através do uso de estufa plástica sobre leito de secagem, revolvimento da massa de lodo, solarização e injeção de calor a partir da queima de gases gerados no processo de tratamento de esgoto (reator);
- ◆ Monitorar a viabilidade do uso de estufa plástica, revolvimento, solarização e injeção de calor em leitos de secagem, como forma de aumentar a eficiência dos leitos de secagem;
- ◆ Reaproveitar o gás gerado no tratamento de esgotos domésticos como fonte energética.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRODUÇÃO, ORIGEM E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTO

Os processos de tratamento do esgoto consistem basicamente na associação de mecanismos físicos, químicos e biológicos, objetivando a remoção de sólidos sedimentáveis e da matéria orgânica de águas residuárias (esgoto), com a finalidade de reduzir sua carga poluidora para garantir seu retorno ao ambiente sem causar degradação ambiental. Como resultado destes processos, é gerado um resíduo sólido, em quantidade e qualidade variáveis, denominado lodo de esgoto. Durante o processo, coprecipitam ainda, microrganismos patogênicos e metais pesados. Assim, o lodo, produto final deste processo, caracteriza-se pela composição predominantemente orgânica e altíssimo potencial poluidor (ANDREOLI e PEGORINI, 2000).

O lodo de esgoto é produzido no processo de tratamento de esgoto, que no Paraná é predominantemente executado através de estações de tratamento que utilizam os Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado ou simplesmente RALF's. O tratamento ocorre através de digestão anaeróbia, composto inicialmente por um tratamento primário para remoção de sólidos grosseiros (gradeamento) e material inerte (desarenador), só então passando ao tratamento secundário no reator, onde a matéria orgânica existente no esgoto sanitário é oxidada por bactérias acidogênicas e depois pelas metanogênicas, sendo o esgoto lançado ao corpo receptor, o lodo digerido disposto em leitos de secagem e o biogás lançado na atmosfera (CHERNICHARO *et al.*, 1999; ANDREOLI *et al.*, 1997).

A tecnologia de tratamento de esgoto utilizada tem influência direta na quantidade de lodo produzida. O processo aeróbio produz de 40-50 g./hab./dia, enquanto que, o anaeróbio em geral, produz quantidades menores de lodo, chegando a 16 g/hab./dia. Devido a uma maior taxa de mineralização do lodo e as diferenças do metabolismo das bactérias anaeróbias, que utilizam menos energia do esgoto que as bactérias aeróbias e conseqüentemente transformam a maior parte da energia em

metano, o tratamento anaeróbio também tem a vantagem de minimizar a produção do lodo (AISSE *et al.*, 1999b).

O lodo resultante das operações e processos de tratamento se apresentam geralmente, em forma líquida ou semi-líquida, que contém normalmente entre 0,25 a 12% de sólido, dependendo do processo utilizado. Esses sólidos, que consistem numa mistura de matéria orgânica e inorgânica, como mostra a tabela 1, se acumulam no sistema e devem ser periodicamente descartados. O critério adotado para operação de RALF's considera 1,0 g/L de sólidos suspensos do efluente, avaliado em Cone Imhof, devendo-se fazer o descarte do lodo para os leitos de secagem. (VON SPERLING, 1996).

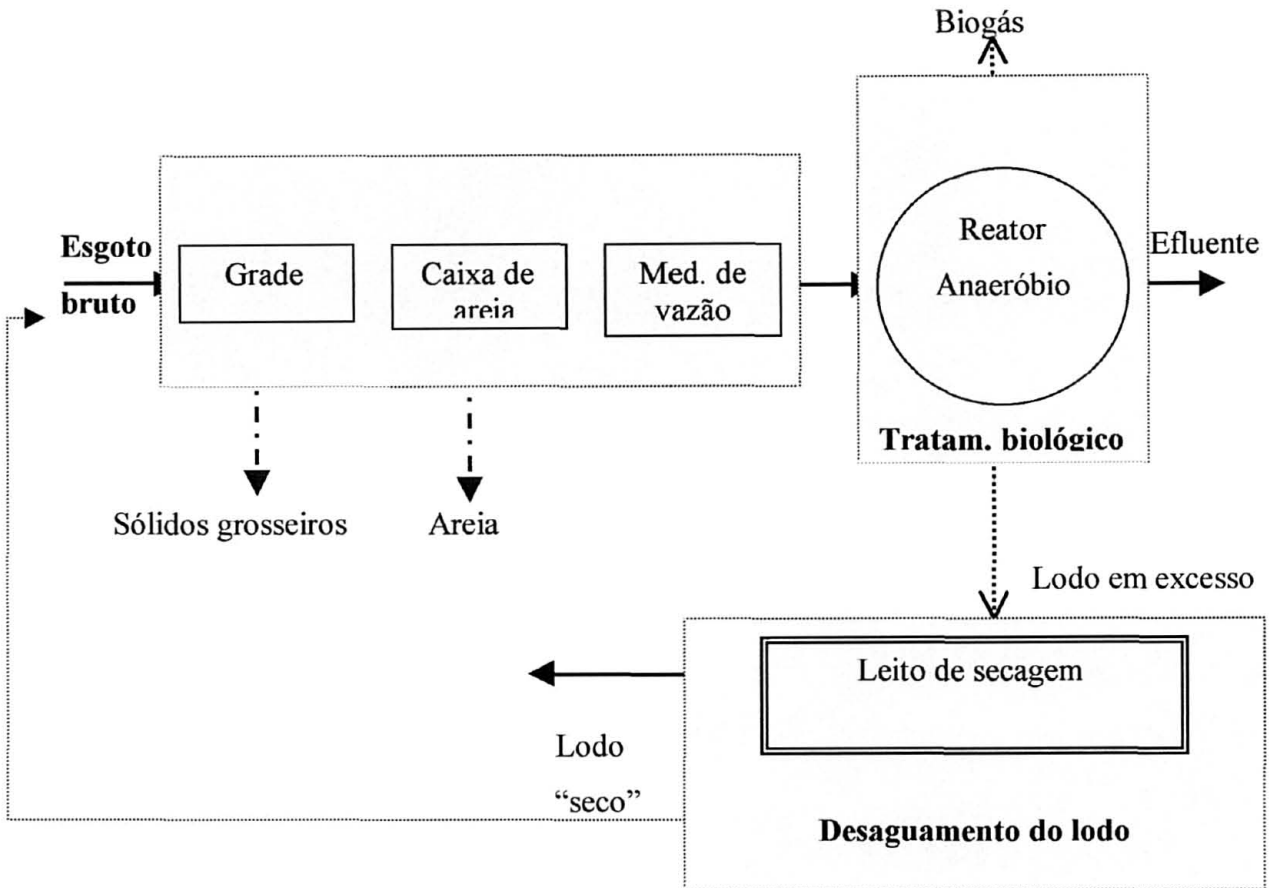
TABELA 1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ESGOTO.

Características	Unidade	Lodo bruto		Lodo digerido	
		Intervalo	Média	Intervalo	Média
Sólidos totais (ST)	%	2,0 – 8,0	5	6,0 – 12,0	10
Sólidos Voláteis (SV)	% de ST	60 – 80	65	30 – 60	40
Nitrogênio	% de ST	1,5 – 4,0	2,5	1,6 – 6,0	3
Fósforo	% de ST	0,8 – 2,8	1,6	1,5 – 4,0	2,5
Potássio	% de ST	0 – 1	0,4	0,3	1
pH	-	5,0 – 8,0	6	6,5 – 7,5	7
Alcalinidade	mg CaCO ₃ L-1	500 – 1500	600	2500 – 3500	3000
Ácidos orgânicos	mg L-1	200 – 2000	500	100 – 600	200

FONTE: METCALF, B.; EDDY, I.N.C. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 3^a ed. cap.12, p. 765-926, New York : McGraw-Hill. Estados Unidos, 1991.

A figura 1 abaixo demonstra um fluxograma da estação de tratamento de esgoto através de Reator Anaeróbio de lodo fluidizado (RALF).

FIGURA 1 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO ANAERÓBIO COM UNIDADES DE PRÉ-TRATAMENTO E DESAGUAMENTO DO LODO.



FONTE: CHERNICHARO, C. A. de; HAANDEL, A.V.; CAVALCANTI, P.F.F. Controle Operacional de reatores anaeróbios. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. CAMPOS, J.R. (org.) PROSAB, Rio de Janeiro, 1999.435 p.

Os sistemas anaeróbios produzem um lodo que ao ser retirado do sistema já está estabilizado, o que representa um ponto muito importante, principalmente quando o destino final é a reciclagem agrícola (AISSE *et al.*, 1999b).

Diversas opções podem ser adotadas para a disposição final deste resíduo em função das características específicas de cada sistema; os processos de destinação final mais usados no mundo são os aterros sanitários (exclusivos ou em co-disposição com lixo doméstico), disposição em superfície, disposição oceânica, lagoas de armazenagem, a incineração ou a reciclagem agrícola (ANDREOLI e PEGORINI, 2000). Opções como a incineração e a disposição em aterros requerem tecnologia

sofisticada e podem apresentar alto custo por tonelada tratada (WEBBER e SHAMESS, 1984; CARVALHO e BARRAL, 1981; SAABYE *et al.*, 1994).

Além dos potenciais impactos negativos, os aspectos econômicos devem ser observados na definição de alternativas para disposição final do resíduo. Assim, os aterros sanitários dependem de localização próxima à centros urbanos onde o lodo é produzido. O terreno destas áreas deve apresentar características especiais de impermeabilização, de disponibilidade de argila para cobertura das células e isolamento ambiental. Deve-se considerar ainda que, mesmo após a desativação e isolamento, estas áreas apresentarão sérias restrições de uso e problemas como a produção de gases e chorume que deverão ser adequadamente drenados e tratados. O método de disposição oceânica foi largamente utilizado pelos países desenvolvidos, porém, está praticamente erradicada pelos impactos ambientais que proporciona (JACKSON *et al.*, 1984). A incineração é uma alternativa aplicada especialmente para a eliminação de lodo contaminado com substâncias perigosas, sendo um sistema bastante limitado em função de problemas relacionados à poluição atmosférica, ao grande volume de água presente nestes materiais e ao elevado custo para viabilizar sua queima (ANDREOLI e PEGORINI, 2000). A disposição superficial ou “landfarming”, com ou sem incorporação, apresenta problemas relacionados especialmente a liberação de odores, atração de insetos, vetores de doenças e pequenos animais, à lixiviação e consequente contaminação do lençol freático com elementos traço e nutrientes (BIDONE, 1998).

Dentre as diversas alternativas, a reciclagem agrícola tem se destacado, mundialmente, por reduzir a pressão de exploração sobre os recursos naturais, reduzir a quantidade de resíduos com restrições ambientais quanto à sua destinação final (BROW, 1991), viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo e por apresentar uma solução definitiva para a disposição do lodo (ANDREOLI *et al.*, 1994). Finalmente é importante destacar que independente da opção preconizada, qualquer forma de disposição do lodo apresenta riscos (ANDREOLI e PEGORINI, 2000).

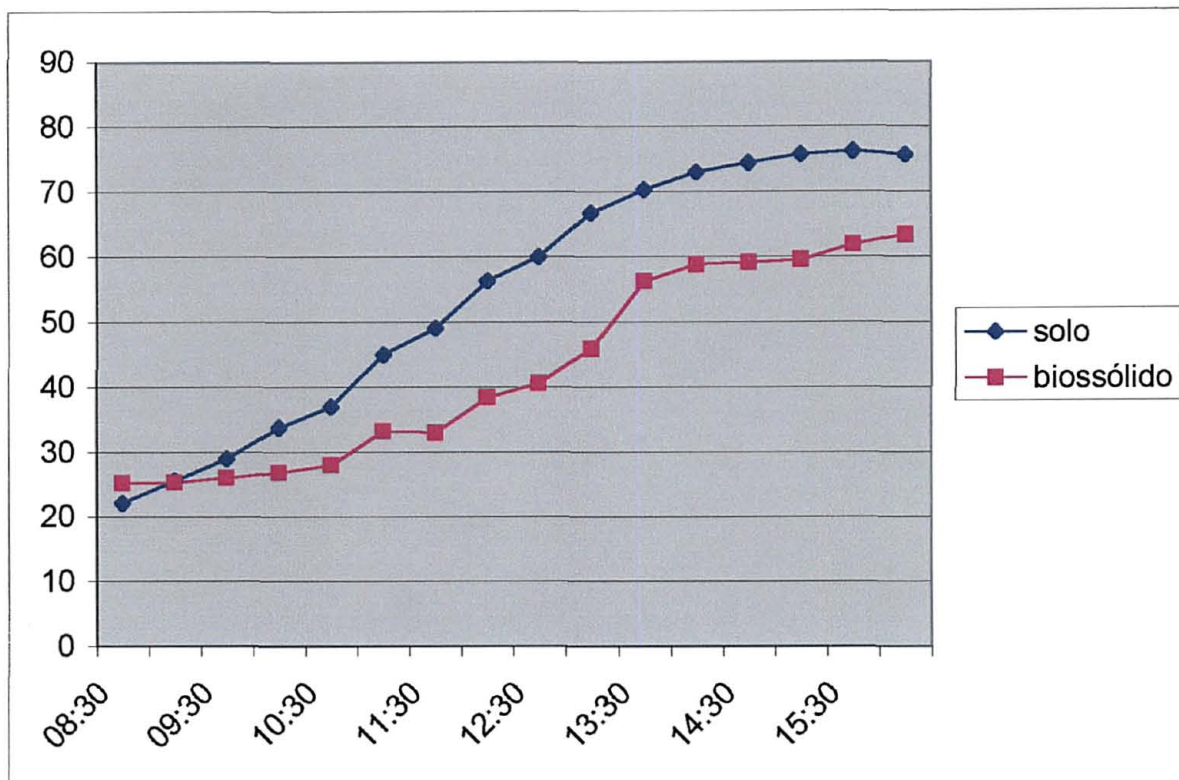
3.2. A RECICLAGEM AGRÍCOLA COMO FORMA DE DISPOSIÇÃO FINAL

As primeiras experiências com a disposição agrícola, embora tivessem como objetivo inicial o tratamento de esgotos através da irrigação como meio de reciclagem de água e produção agrícola, constitui também, uma prática centenária. Entretanto, com o desenvolvimento da microbiologia sanitária e as preocupações crescentes com a saúde pública fizeram com que esta alternativa se tornasse praticamente desaconselhada em meados deste século. Por outro lado, vários fatores vieram contribuir para que recentemente o interesse pela disposição no solo fosse renovado: a crescente escassez de recursos hídricos, a crescente deterioração dos mananciais de água, as limitações técnico-financeiras de se implantar soluções mais complexas de tratamento e o avanço do conhecimento científico (HESPANHOL, 1999 citado por TSUTIYA, 2000).

A aplicação do produto em áreas agrícolas traz efeitos benéficos às propriedades físicas do solo, como o estado de agregação das partículas e a conseqüente melhoria da capacidade infiltração, retenção de água e aeração. A decomposição do lodo de esgotos gera agentes complexantes que facilitam a solubilização de fosfatos combinados no solo a ferro e alumínio bem como nutrientes em compostos orgânicos de liberação lenta. As melhorias nos fatores físicos e químicos do solo levam à imediata reação de incremento da atividade da população edáfica (CARVALHO e BARRAL, 1981).

A alternativa da reciclagem agrícola tem o grande benefício de transformar um resíduo em um importante insumo agrícola que fornece matéria orgânica e nutrientes ao solo, trazendo também vantagens indiretas ao homem e ao meio ambiente. As vantagens são reduzir os efeitos adversos à saúde causados pela incineração, diminuir a dependência de fertilizantes químicos e melhorar as condições para o balanço do CO₂ pelo incremento da matéria orgânica no solo (OUTWATER, 1994). Pode ainda, num sentido mais amplo, influenciar as condições da biosfera pela sua integração com políticas globais referentes à dinâmica do Carbono atmosférico (LAL *et al.*, 1994).

A tabela 2 exhibe o potencial agrícola dos lodos produzidos no Paraná em relação à quantidade média de elementos de sua composição.



Do ponto de vista econômico, o uso do lodo como fertilizante orgânico representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição de parte das doses de adubação química sobre as culturas, com rendimentos equivalentes ou superiores aos conseguidos com fertilizantes comerciais. As propriedades do produto o tornam especialmente interessante a solos agrícolas desgastados por manejo inadequado, bem como na recuperação de áreas degradadas (USEPA, 1979).

O processo de reciclagem alia baixo custo e impacto ambiental positivo quando é realizada dentro de critérios seguros. Ambientalmente, é a solução mais correta, pois promove o retorno dos nutrientes ao solo, colaborando com o fechamento no ciclo dos elementos. Seu valor agrícola como insumo, a sazonalidade das demandas e os custos envolvidos no seu beneficiamento e transporte, assim como um plano gerencial para a atividade e monitoramento ambiental são aspectos relevantes para a análise desta alternativa (FERREIRA *et al.*, 1999a).

Esta alternativa de disposição final, contudo, depende de um adequado planejamento que considere um amplo conjunto de informações tais como: estimativa de produção, avaliação da qualidade, aptidão das áreas de aplicação, organização e operação da distribuição, alternativas de higienização, adequações necessárias a ETE e monitoramento ambiental. Deve-se garantir a disponibilização de um insumo de boa qualidade para a agricultura, com garantia de segurança sanitária e ambiental à população. A necessidade de equacionamento do problema não pode simplesmente considerar a disposição no solo, especialmente no caso da reciclagem agrícola, como uma forma de eliminar um problema eminentemente urbano. As experiências negativas de uma prática podem inviabilizar essa alternativa no futuro face à resistência que podem gerar na sociedade, decorrentes dos potenciais danos ambientais, agronômicos e sanitários (SANEPAR, 2000).

3.2.1 Histórico Internacional de Uso

A reciclagem agrícola do lodo de esgotos é uma prática consagrada nos países desenvolvidos, porém, mesmo com o avanço significativo no desenvolvimento de modernas tecnologias para o processamento do lodo nos últimos anos, a disposição final do lodo continua representando um desafio em todo o mundo (IAWQ, 1999).

HUANG (1995) situa sua origem ao longo da história do sanitarismo nos últimos séculos da Idade Média, associando-a ao advento de valas subterrâneas e posteriormente das fossas sépticas. O material era disposto sobre terras agrícolas ou áreas de pastagem, ou descarregado em cursos d'água. Mas foi apenas no início deste século que parâmetros criteriosos para a disposição agrícola do lodo foram desenvolvidos, simultaneamente ao desenvolvimento de sistemas coletivos de tratamento de esgotos, e evoluíram particularmente durante as décadas de 1950 e 1960 nos Estados Unidos, com incentivos maciços do governo norte-americano para o setor.

Na Alemanha, áreas de plantio com valorização agrícola de lodos estão em atividade desde de 1896. Dados de CARVALHO e BARRAL (1981) indicam que na última década a Europa já dispunha em solos agrícolas cerca de 40% do lodo de

esgotos produzido e os Estados Unidos nesta época utilizavam em média 23% do total de resíduos gerados. DEUS (1993) aponta o uso de 37 mil toneladas do produto (base de peso seco) em 7 mil acres de terras agrícolas no Estado da Virgínia e na Pensilvânia, em 3 mil acres de áreas degradadas para sua recuperação - a mesma autora descreve práticas de aplicação de lodos ao solo na Austrália, Grã-Bretanha, Israel, e Alemanha, com lodos brutos primários, secundários e digeridos, em áreas de pastagens, silvicultura e fruticultura, além de áreas verdes urbanas de prefeituras e em áreas degradadas.

A primeira região do Canadá a adotar a técnica foi a de Manitoba em 1966. Em 1983, a prática já era adotada em 141 municípios do país e destes, 121 localizavam-se em Alberta, British Columbia ou Ontario. Estimativas da época apontavam para a década de 1990 o estabelecimento da reciclagem agrícola como principal forma de disposição final, absorvendo 60% da produção mundial do resíduo. Também em 1983, a Itália admitia como formas de disposição final apenas a incineração, a disposição em aterros sanitários e a reciclagem agrícola e já se destinavam 30% dos lodos em solos agrícolas. Experiências bem sucedidas na recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração foram desenvolvidas em Alberta (Canadá) e Illinois (EUA) (EPS, 1984).

A Europa unificada procura chegar a um padrão comum de disposição de lodo de esgotos, respeitando-se as particularidades geográficas e climáticas de cada país. Com as restrições ao uso de aterros sanitários, o percentual de lodo reciclado deverá aumentar substancialmente nos próximos anos (FERNANDES, 1998). Nos Estados Unidos cerca de 36% do lodo de esgotos gerado anualmente é aplicado na agricultura, em florestas e na recuperação de solos (KRAUSS e PAGE, 1997).

Segundo a EPA (1999), a reciclagem deste material na agricultura alcançou 41 % das 7,1 milhões de toneladas secas do resíduo produzido nos EUA no ano de 1998. Em 2010, o índice deve atingir 48 % do total. Considerando todos os usos benéficos do material, o índice em 1998 foi de 60 % do total produzido, para 2010 a perspectiva é superar os 70 % do lodo produzido no país. Em contrapartida, outras

alternativas menos benéficas ambientalmente, como landfarming e incineração, tendem a ser menos utilizadas, como demonstra a tabela 3.

TABELA 3 - PROJEÇÕES DE USO E DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESGOTO NOS EUA EM 1998 E PROJEÇÕES PARA 2000, 2005 E 2010.

Ano	Usos Benéficos				Disposição			
	Reciclagem Agrícola	Tratam. Avançado	Outros Usos	Total	Disposição Superficial (aterro)	Incineração	Outros	Total
1998	41%	12.0%	7.0%	60%	17%	22%	1%	40%
2000	43%	12.5%	7.5%	63%	14%	22%	1%	37%
2005	45%	13.0%	8.0%	66%	13%	20%	1%	34%
2010	48%	13.5%	8.5%	70%	10%	19%	1%	30%

FONTE: ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency Biosolids generation, use, and disposal in The United States, 1999 (EPA 530-R-99-009).

As tendências apontam para um crescimento ainda maior para as alternativas de reciclagem tanto na Europa quanto nos EUA e da incineração na Europa para os próximos anos, devido a proibição da disposição de resíduos recicláveis em aterros a partir de 2002 na Europa e 2004 nos EUA (EPA, 1999).

3.2.2 Reciclagem Agrícola no Brasil

Os níveis precários de coleta e tratamento de esgoto no Brasil, são reflexo do descaso com a qualidade ambiental, justificado pela escassez de recursos, porém, nos permitem uma estimativa do potencial de produção de biossólidos (ANDREOLI e PEGORINI, 1998).

O sistema brasileiro de saneamento existente apresenta atualmente, um índice de coleta de esgotos aproximado de 28%, considerando a população urbana residente no país sendo que do total apenas 13% recebem tratamento do esgoto coletado. Considerando o esgoto que é coletado produziria 325.800 t/dia de MS se o esgoto fosse tratado em sistema anaeróbio e 473.900 t/dia de MS em sistema aeróbio. Considerando a total eficiência de operação de todos os sistemas no Brasil que tratam

seus efluentes domésticos, a produção de lodo em sistema anaeróbio deveria ser de 150.700 t/dia de MS e em sistema aeróbio de 219.300 t/dia de MS, demonstrando o grande potencial produtivo do país, em decorrência de sua eficiência no tratamento dos esgotos (CABES, 1996).

Mesmo os sistemas de tratamento de esgoto já implantados são muitas vezes operados indevidamente, o que diminui a sua eficiência, caracterizando-se como um grande desperdício de recursos públicos que foram investidos com o sacrifício da população e não trazem os benefícios esperados. Desta forma a existência do problema do lodo de esgoto é um avanço, pois significa que o primeiro passo em direção a solução do problema da poluição já foi dado (ANDREOLI e PEGORINI, 2000a).

A posição brasileira em relação à tendência internacional de reciclagem agrícola dos lodos de esgotos foi levantada por BONNET (1995) com o objetivo de identificar experiências avançadas em reciclagem agrícola no País, por meio de consulta às concessionárias estaduais de saneamento sobre a forma de disposição do resíduo praticada. Das consultas respondidas, seis Estados informaram utilizar alguma forma de reciclagem agrícola mas apenas dois declararam desenvolver estudos sobre o tema. No levantamento foi relatado que um Estado lança seu lodo de esgotos em rios e que os dois Estados praticavam a disposição oceânica. Em dois Estados havia uma forte tendência à adoção da descarga em aterros sanitários como solução de destinação final, em função dos altos teores de metais pesados dos lodos destes Estados (LARA *et al.*, 1997).

3.2.3 Potencial Produtivo de Lodo de Esgoto no Paraná

A efetivação e ampliação dos serviços de tratamento de esgotos urbanos é uma atividade prioritária ao setor de saneamento, que busca resgatar parte da dívida social e ambiental gerada por políticas reducionistas, que dissociaram o saneamento em atividades não integradas, gerando dificuldades que resultam no lançamento diário de

cerca de 10 bilhões de litros de esgotos coletados e não tratados, nos corpos d'água brasileiros (BRASIL, 1991).

O tratamento do esgoto coletado no Paraná é predominantemente executado através de estações de tratamento que utilizam Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado (RALF) e a coleta e tratamento do esgoto segue a linha estabelecida para o saneamento nacional (SANEPAR, 1997a).

No Estado do Paraná a Sanepar é a maior operadora de serviços de saneamento, distribuindo água a 342 municípios e realizando coleta de esgoto em 118 municípios. Existe grande demanda de coleta e tratamento de esgotos no Estado, e portanto há a necessidade de construção de novas ETÉs ou de ampliações das já existentes. No Paraná este trabalho vem sendo realizado através de diversas linhas de financiamento, que geraram o aumento da população beneficiada com serviços de coleta e tratamento de esgoto.

O Paraná iniciou em 1988 um programa interdisciplinar de pesquisas sobre a reciclagem agrícola do lodo de esgotos. À parte de alguns estudos isolados na década de 1980, as iniciativas para a resolução da disposição final dos lodos de esgotos no Paraná tomaram corpo a partir da associação em 1990 da Sanepar e da autoridade ambiental estadual – Instituto Ambiental do Paraná (IAP) – em torno do problema, que gerou a proposição de linhas de pesquisa sobre o uso agrícola do lodo tratado com cal e co-compostado (ANDREOLI *et al.*, 1994; FERNANDES, PIERRO e YAMAMOTO *et al.*, 1993).

A preocupação com a quantificação do lodo produzido foi estabelecida em função da decisão pela valorização agrícola do produto. Recentemente, a quantidade de lodo produzido vem sendo também referencial da eficiência de operação dos sistemas. Uma primeira tentativa de quantificação no Estado do Paraná, ainda que de forma genérica, foi realizada por BONNET (1995), com base na produção teórica de lodo para cada tipo de tratamento e na população-equivalente atendida pelos maiores sistemas, chegando a uma produção de 18,86 t/MS/dia. No mesmo trabalho, com base

no aumento de população atendida por obras de expansão planejadas, estimou para o ano 2000 uma produção diária de 43,58 t de lodo.

Para dimensionar a situação recente do Estado em relação a produção efetiva de lodo nas Estações de Tratamento e fazer uma previsão do potencial das ETEs quanto à produções estimadas para os próximos anos, FERREIRA *et al.* (1999b) realizaram um levantamento, cuja metodologia consistiu na elaboração de um formulário, aplicado aos 118 municípios operados pela Sanepar com coleta e tratamento de esgoto. Os resultados mostraram que 76,26% de todo efluente doméstico coletado nos municípios atendidos recebem tratamento, porém, ainda há uma discrepância muito grande entre população total dos municípios e quantidade de pessoas atendidas com a coleta do esgoto urbano, pois, cerca de 68% dos habitantes não recebem atendimento, denunciando a urgente necessidade de ampliação das redes coletoras do efluente doméstico. Os resultados contabilizados por região, mostram que há uma produção de 880,23 t/mês de matéria seca de lodo, considerando os dados de produção de lodo de apenas 39 municípios, pois, nos demais não foi realizado descarga de lodo dos RALF's e Lagoas de Estabilização.

A região de Curitiba já possui o Plano de Reciclagem de lodo com implementação à nível de campo já no ano 2000, prevendo a distribuição gratuita aos agricultores de cerca de 500 t/mês de lodo (ANDREOLI e PEGORINI, 2000b).

3.2.4 Riscos Associados à Reciclagem

A aplicação de alternativas tecnológicas para a gestão de resíduos, envolve a revisão dos padrões mínimos de qualidade do esgoto recebido na rede, especialmente no que se refere ao seu conteúdo de metais pesados, pois, tanto a norma NBR – 9800 da ABNT, quanto a resolução 020/86 do CONAMA não são suficientes para garantir níveis de qualidade de lodo que permitam a sua reciclagem agrícola. Os principais riscos associados à utilização agrícola do lodo referem-se a questão dos metais pesados, aspectos sanitários, micropoluentes orgânicos e nitrogênio. Tanto os metais quanto os agentes patogênicos como ovos de helmintos, esporos de fungos e colônias

de bactérias tendem a co-precipitar com o esgoto e se concentrar no lodo (FERREIRA, *et al.*, 1999c).

3.2.4.1 Metais pesados

A principal limitação a ser observada durante a avaliação da possibilidade da utilização de biossólidos em áreas agrícolas se refere à presença de poluentes. Biossólidos contendo elevadas concentrações de metais pesados não devem ser destinados ao uso agrícola (FERREIRA *et al.*, 1999c).

O grau de contaminação do lodo está diretamente relacionado às características do esgoto, pois, estes elementos se concentram através de diferentes processos de tratamento (PEREIRA *et al.*, 1997). Desta forma teores de metais mais elevados estão geralmente associados às atividades industriais, comerciais e águas de enxurrada, sendo inevitável sua presença nas redes de esgoto (ZABEL, 1993).

O Estado do Paraná apresenta baixos teores destes elementos em praticamente todos os seus sistemas em função das políticas adotadas pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), de exigir o tratamento dos efluentes industriais antes do seu lançamento em rede coletora e pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) de estabelecer parâmetros bastante restritivos em relação ao recebimento de esgoto industrial na rede coletora (ANDREOLI *et al.*, 1997)

A tabela 4 faz uma comparação do teor de elementos traço de vários resíduos orgânicos produzidos no Paraná e servem de parâmetro para estimar as quantidades de metais que podem ser acumulados no solo com sucessivas aplicações.

TABELA 4 - TEORES DE METAIS PESADOS (mg kg⁻¹) EM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS E FERTILIZANTES CORRETIVOS.

Material	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Referência
Lodo esgoto	4,1	103	101	77	117	137	TSADILAS <i>et al.</i> , 1995
Lodo esgoto	11	---	344	---	524	1.107	TACKETT <i>et al.</i> , 1986
Lodo esgoto	---	3.700	---	600	180	2.300	KASATIKOV, 1992
Lodo esgoto	28	1.040	565	100	520	2.200	TAN, 1995
Lodo esgoto (PR)	1,23	51,1	116,0	16,2	66,8	340	MIYAZAWA, 1998
Lodo aeróbio (Belém)	3,35	76,8	478,0	35,5	217,0	1.870	MIYAZAWA, 1998
Composto com Lodo	---	60	78	---	38	89	FERNADES <i>et al.</i> , 1993
Composto de esterco	0,35	10,6	20,2	1,3	0,5	72	MIYAZAWA, 1998
Composto de bovino	1,90	66,3	71,6	8,1	13,6	106	MIYAZAWA, 1998
Lixo urbano	2	26	113	12	135	235	RAO & SHANTARAM, 1995
Esterco de bovino	0,11	27,5	90,2	3,5	11,1	220	MIYAZAWA, 1998
Esterco de suíno	0,58	19,3	230,0	4,0	19,6	1670	MIYAZAWA, 1998
Esterco de aves	0,33	15,9	72,8	2,6	5,9	151	MIYAZAWA, 1998
Húmus de minhoca	0,0	42,6	246,0	7,9	33,9	266	MIYAZAWA, 1998
Lodo têxtil	4	2.490	390	63	120	864	TAN, 1995
Fertilizante Fosfatado	0,1 - 170	66 - 245	1 - 300	7 - 38	7 - 225	50 - 1.450	ALLOWAY, 1993
Calcário	0,04 - 0,1	10 - 15	2 - 125	10 - 20	20- 1250	10 - 450	ALLOWAY, 1993

Em uma vasta revisão de trabalhos de pesquisa com lodo de esgoto aplicados à agricultura realizados no Brasil nos últimos vinte anos, e com suporte na literatura internacional, MELO e MARQUES (2000) concluíram que os metais pesados, considerados componentes tóxicos presentes no lodo de esgoto, também ocorrem em outros fertilizantes e corretivos do solo, caso dos fertilizantes fosfatados, nitrogenados e do calcário, assim como no próprio material de origem do solo e que, apesar do lodo encerrar em sua composição esses materiais não desejáveis, não foi encontrado em

nenhum trabalho de pesquisa até então realizados em condições brasileiras, toxicidade para os vegetais.

Os riscos associados aos metais pesados adicionados no solo dependem de diversos fatores, entre os quais o conteúdo original do solo, sua textura, matéria orgânica, o tipo de argila, a intensidade do intemperismo, o pH e a CTC (SOUZA *et al.*, 1996), sendo que a quantidade máxima permitida está expresso na tabela 5 abaixo:

TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA DE METAIS EM SOLOS CULTIVADOS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO (mg/kg).

PAÍS	ANO	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Comunidade Européia	1986	1-3	50-140	100-150	30-75	50-300	150-300	1-1.5
França	1988	2	100	150	50	100	300	1
Alemanha ^a	1992	1.5	60	100	50	100	200	1
Itália	1990	3	100	150	50	100	300	---
Espanha		1	50	100	30	50	150	1
Reino Unido ^b	1989	3	135	400	75	300	300	1
Dinamarca	1990	0.5	40	30	15	40	100	0.5
Finlândia	1995	0.5	100	200	60	60	150	0.2
Noruega		1	50	100	30	50	150	1
Suécia		0.5	40	30	15	40	100	0.5
Estados Unidos	1993	20	750	1500	210	150	1400	8
Nova Zelândia	1984	3.5	140	600	35	300	300	1
	1992	3	140	600	35	550	280	1
Canadá (Ontario)	---	1.6	100	120	32	60	220	0.5
Solo TRe (Paraná - Br)		<2.8	250	140	58	52	129	--

FONTE: SOUZA, M.L.P. *et al.* Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná. SANARE, V.5, N.5, p.68-75, 1996.

A tabela 6 mostra, segundo McGRATH *et al.* (1994) os limites de concentração de metais pesados presentes no lodo de esgoto para que o mesmo possa ter sua disposição final na reciclagem agrícola, baseado na norma 503 da EPA, utilizada nos Estados Unidos. Já no Estado do Paraná, FERNANDES *et al.* (1999) preconizou níveis máximos permitidos mais restritivos, como demonstra a tabela 6.

TABELA 6 - CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE POLUENTES NO BIODOSSÍLIDO (mg/kg base seca), COM FINS PARA RECICLAGEM AGRÍCOLA DEFINIDAS PELA SABESP E PELA SANEPAR.

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (SANEPAR)*	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA **
Arsênio	-	-
Cádmio	20	85
Cromo	1.000	3.000
Cobre	1.000	4.300
Chumbo	750	840
Mercúrio	16	57
Molibdênio	-	-
Níquel	300	420
Selênio	-	-
Zinco	2.500	7.500

FONTE(S): **McGRATH, S.P.; CHANG, A.C.; PAGE, A.L. et al. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. *Environ. Rev.*, v.2, p. 108-118, 1994.

*FERNANDES, F.; LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. *Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto in Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções*. Curitiba : SANEPAR, FINEP, 1999.

O controle dos elementos traço é requisito básico a qualquer sistema de disposição final de lodo, iniciando pelo controle no próprio lodo, estabelecendo limites de presença como mostra a tabela 7. As práticas de manejo da aplicação do lodo no solo devem iniciar pelo controle no próprio lodo, estabelecendo limites de conteúdo de metais, partindo então para os níveis cumulativos máximos permitidos no solo, quantidade de acumulação, as condições do solo a nível regional e as condições climáticas e topográficas (SANEPAR, 1997a).

TABELA 7 – CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE METAIS PESADOS DOS LODOS DE ESGOTOS PRODUZIDOS NO PARANÁ EXPRESSOS EM mg/kg DE MS.

Lodo	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Anaeróbio	n.d.	439	178	1,0	73	123	824
Aeróbio	n.d.	89	58	0,5	40	64	465
Norma	20	1000	1000	16	300	750	2500

FONTE: COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná. Curitiba, 1997a.

3.2.4.2 Sanidade

Dentre os fatores biológicos limitantes ao uso do lodo na agricultura destacam-se os patógenos, presentes no esgoto doméstico que ao precipitar se

concentram nos lodos provenientes dos sistemas de tratamento. A presença destes agentes patogênicos, ainda que substancialmente reduzida, podem causar problemas devido à sua possibilidade de disseminação pelo meio ambiente (ILHENFELD *et al.*, 1999)

A densidade de patógenos presente no lodo de esgoto, de uma determinada localidade é bastante variável e depende das condições sócio-econômicas da população, das condições sanitárias, da região geográfica, da presença de animais vivendo na rede, da presença de indústrias agro-alimentares e do tipo de tratamento a que o lodo foi submetido. Pode diferir ainda de acordo com a natureza do efluente, o tipo de estação e dentro de uma mesma estação ela pode variar de um período para outro (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1998).

Os diferentes graus de atividade biológica e as concentrações destes agentes patogênicos definem a sua virulência que, associada às condições do meio e à susceptibilidade dos hospedeiros, pode se refletir em algumas alterações na saúde das populações. Deve-se ressaltar, portanto, que o grau de contaminação da população estabelece base potencial de disseminação das doenças. Portanto, as ações que melhorem o quadro sanitário trarão, também, reflexos positivos relativos à segurança do uso do lodo na agricultura (SANEPAR, 1997a).

No Brasil, os agentes patogênicos constituem-se em um importante elemento de limitação ao uso do lodo na agricultura, porém, é o fator mais facilmente controlado através da adoção de soluções técnicas de higienização que levem à eliminação do patógeno (FERRREIRA, *et al.*, 1999c). No Estado do Paraná, para fins de caracterização do perfil sanitário do lodo, foram estabelecidos os seguintes indicadores: ovos de helmintos e coliformes fecais. Uma vez realizado o controle desses patógenos, os demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, não proporcionando riscos aos usuários do produto e ao ambiente. O limite para esses organismos está especificado na tabela 8.

TABELA 8 – LIMITE DE PATÓGENOS PRESENTES NO LODO DE ESGOTO PARA A RECICLAGEM AGRÍCOLA.

Parâmetros	Limites
Helmintos (contagem de ovos viáveis)	0,25 ovos/g MS
Coliformes fecais	103 NMP/g MS

FONTE: FERNANDES, F.; LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. **Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto in Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções**. Curitiba : SANEPAR, FINEP, 1999.

O uso do lodo de esgoto na agricultura deve, portanto, considerar alternativas de desinfecção, de forma a reduzir a quantidade de agentes patogênicos e correlacionar restrições de uso segundo a qualidade alcançada, afim de permitir que as condições do meio garantam o uso seguro deste material (SANEPAR, 1997a)

3.2.4.3 Micropoluentes orgânicos

O lodo de esgoto contém sempre uma grande variedade de substâncias que podem causar problema se eles forem utilizados como fertilizantes ou agentes condicionantes do solo. Particularmente com a utilização do lodo de esgoto na agricultura, é essencial que o lodo seja utilizado somente quando contiver quantidades de metais pesados, poluentes orgânicos e fertilizantes que não provoquem efeitos negativos para os seres humanos e para o ambiente (BERGS e LINDNER, 1997).

Ao contrário dos materiais orgânicos naturais presentes no lodo bruto, pouco dos sintéticos orgânicos resistem à biodegradação e persistem no lodo a águas residuárias (FERREIRA, *et al.*, 1999c).

De acordo com BERGS e LINDNER (1997) seu aparecimento no lodo de esgoto ocorre através dos despejos industriais, residenciais e através da agricultura e ainda indiretamente via ar ou precipitação e alguns pela alimentação e medicamentos; os principais poluentes orgânicos estudados são os dioxinas e furans (PCDDs/PCDFs) e o policlorinato bifênil (PCBs). Os mesmos autores citam que, na Bélgica, os estudos para a nova preparação da Legislação de Lodo de Esgoto incluem os policlorinato dibenzodioxin/-furan; policlorinato bifênil; hidrocarbonos aromáticos policíclicos e clorohidrocarbonos (inseticidas).

A USEPA (1979) identificou uma lista com 114 poluentes orgânicos que entram no sistema de esgoto doméstico e industrial e se acumulam no lodo, sendo potencialmente perigosos para humanos e animais.

Com exceção do Policlorinato Bifenil (PCBs) muito pouco se sabe sobre a concentração e destino dos tóxicos orgânicos no esgoto e na aplicação agrícola do lodo. Os PCBs presentes no esgoto se concentram no lodo durante o tratamento (SHANNON *et al.*, 1976). Eles são absorvidos diretamente pelo intestino e animal, e em estudos feitos em animais apresentaram ação mutagênica, teratogênica e carcinogênica (HEALTH and WELFARE CANADA, 1980)

Em relação à translocação dentro da planta, sabe-se que alguns compostos orgânicos tóxicos são trazidos direto para as raízes e translocadas para a parte aérea (FERREIRA, *et al.*, 1999c), porém, de acordo com BERGS e LINDNER (1997) a atividade de absorção das substâncias orgânicas e o transporte para as plantas é, provavelmente, extremamente lento. Entretanto, novos estudos são necessários para explorar a transferência dos poluentes orgânicos para as plantas, por exemplo, através dos estômatos, bem como o modo de degradação destas substâncias no ambiente em particular e no solo.

3.2.4.4 Nitrogênio

O nitrogênio, devido ao elevado teor em que normalmente é observado nos biossólidos é via de regra, o fator determinante do seu aproveitamento agrícola. Entretanto, cuidados devem ser tomados, pois, taxas muito elevadas deste elemento podem ter grande impacto na qualidade da água subterrânea, pois, o nitrogênio pode lixiviar em forma de nitrato e acima de um certo nível contaminar o lençol freático (SANEPAR, 1997a).

Devido à sua alta mobilidade no solo, o nitrato, decorrente da mineralização do nitrogênio, desloca-se com facilidade para baixo da zona radicular, podendo atingir as águas subterrâneas. A presença de concentrações de nitrato acima de 10 mg L⁻¹

definem que essas águas sejam classificadas como impróprias para consumo humano (Portaria 36 Bsb, 1990).

Assim, para prevenir a contaminação da água do solo por nitrogênio, a EPA (Estados Unidos, Environmental Protecty Agency, 1993) afirma que o padrão de volume de lodo de esgoto aplicado no solo deve ser igual ou menor que o padrão agrônômico em relação ao nitrogênio do solo. Este padrão é designado para suprir a quantidade de nitrogênio necessária para a cultura, enquanto ocorre uma minimização da quantidade do nitrogênio no lodo de esgoto que passará para baixo da zona radicular.

3.3 GASES GERADOS NO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO

Biogás é o nome dado à mistura de gases produzida através do processo fermentativo da biomassa, tendo como constituinte energético o metano, além do gás carbônico e outros gases, presentes em menor proporção, variável em função da composição do resíduo a ser tratado e das condições do reator (PIERRE e QUEZADA DORIA, 1995).

Estudos feitos por PRICE e CHEREMISINOFF (1981) demonstraram que o biogás é composto por 65-70% de gás metano, 25-30% de gás carbônico e uma pequena quantidade de outros elementos como o nitrogênio e hidrogênio. AZEVEDO NETO (1961) admite uma variação de 55 à 65% de metano, 35 à 45% de gás carbônico, 0 a 3% de nitrogênio, 0 à 1% de hidrogênio, 0 à 1% de oxigênio e 0 à 1% de gás sulfídrico, que é o responsável pelo odor pútrido característico à mistura quando o gás é liberado, e também o responsável pela corrosão que se verifica nos componentes do sistema.

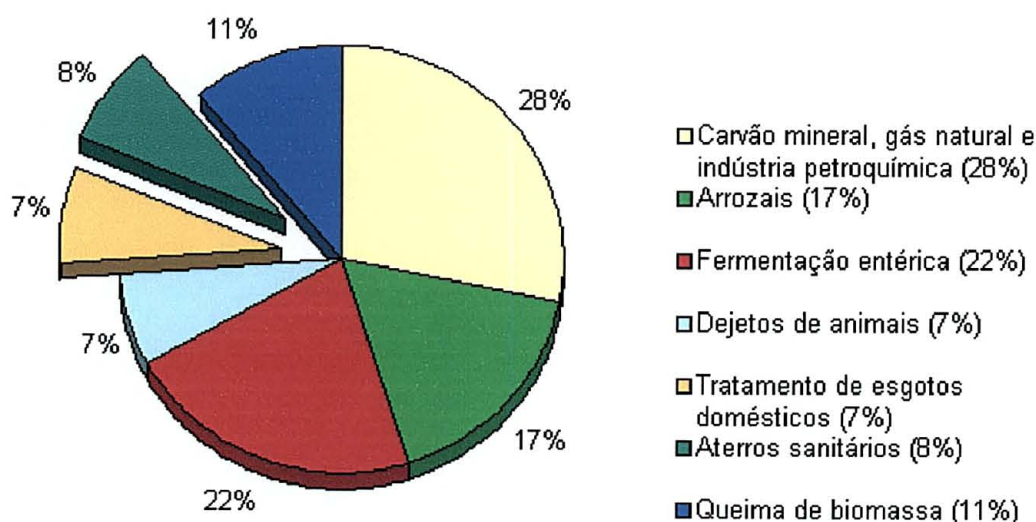
O gás metano é o combustível por excelência do biogás que será mais puro quanto maior for seu teor de metano. É um gás combustível produzido basicamente por fontes antropogênicas e naturais. Dentre as fontes antropogênicas, aquelas que podem ser controladas ou influenciadas pelo homem, as principais, em quantidades emitidas, são as plantações de arroz, a fermentação entérica, a queima de biomassa, o

manejo de resíduos, o uso de combustíveis fósseis e as perdas de gás natural. O manejo de resíduos inclui, como fontes principais de emissão de metano, o tratamento de efluentes e a disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários. Como fontes naturais pode-se citar os pântanos, oceanos, águas doces (CETESB, 2000).

A concentração de metano na atmosfera tem aumentado nas últimas décadas, provavelmente por variações nas fontes ou nos reservatórios. As emissões devido às fontes naturais tem se mantido razoavelmente constantes, enquanto que as antropogênicas tem aumentado consideravelmente (CETESB, 2000).

A figura 2 abaixo apresenta as principais fontes antropogênicas de metano e suas contribuições no Brasil.

FIGURA 02 – FONTES ANTROPOGÊNICAS DE PRODUÇÃO DE METANO



FONTE: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Emissões de metano gerado no tratamento e disposição de resíduos no Brasil. Disponível na Internet (http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/residuos.htm) – 04/08/2000.

3.3.1 Produção de Biogás

De acordo com AZEVEDO NETTO (1961), o biogás é também um dos subprodutos gerados no tratamento anaeróbio de esgotos sanitários, consistindo de uma mistura gasosa, combustível, resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica. A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o

tipo de digester e o substrato a digerir. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH_4) que é o constituinte energético e por dióxido de carbono (CO_2), estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade existente na mistura gasosa, apresentando ainda quantidades de nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S) e vapor de água (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; METCALF e EDDY, 1991; AZEVEDO NETO, 1961).

Segundo VAN HAANDEL e LETTINGA (1994), quando o afluente é o esgoto sanitário, a produção de biogás é relativamente pequena, pois, a concentração de material biodegradável é relativamente baixa e parte do biogás permanece dissolvida na parte líquida, sendo que, o teor de metano no gás de esgotos varia de 60 à 80%.

A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbia, processa-se através da cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias e a presença da matéria orgânica nos esgotos sanitários é expressa em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é o principal fator determinante do potencial de geração de metano (CETESB, 2000).

De acordo com CRAVEIRO (1982) os valores obtidos referentes ao rendimento de gás produzido com base no resíduo bruto para lodo primário é de 28 m^3 gás/t de resíduo.

3.3.1.1 Características do biogás

O biogás é um gás incolor, geralmente inodoro (se não contiver demasiadas impurezas), insolúvel, leve e de fraca densidade (SALVADOR, 1991).

O quadro abaixo mostra a composição do biogás.

QUADRO 1 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DA MISTURA GASOSA.

Metano (CH ₄)	50 a 75 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 a 40 %
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3 %
Nitrogênio (N ₂)	0,5 a 2,5 %
Oxigênio (O ₂)	0,1 a 1 %
Sulfureto de Hidrogênio (H ₂ S)	0,1 a 0,5 %
Amônio (NH ₃)	0,1 a 0,5 %
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1 %
Água (H ₂ O)	Variável

FONTE: PIRES, N.J. Biogás – O aproveitamento dos resíduos orgânicos. Disponível na Internet <http://www.esb.ucp.pt/~bungah/pires/index.htm> – 03/01/2000.

Mais leve que o ar, contrariamente ao butano e ao propano, ele suscita menores riscos de explosão na medida em que sua acumulação se torna mais difícil. Em condições normais de produção, devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1 %) não é tóxico, por outro lado, devido às impurezas que contém, o metano é muito corrosivo, sendo que, o gás mais corrosivo desta mistura é o gás sulfídrico, que ataca, além de outros materiais, o cobre, o latão e o aço, desde que sua concentração seja considerável (PIRES, 2000).

Sob o ponto de vista térmico, este 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).

De acordo com PIRES (2000) o Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) do biogás é de cerca de 5500 Kcal/m³, quando a proporção de metano é aproximadamente de 60%. A título de comparação, o quadro que segue apresentado pelo mesmo autor, mostra o P.C.I. para outros gases corrente:

QUADRO 2 – COMPARATIVO DO P.C.I. DO METANO E OUTROS GASES.

GÁS	P.C.I. em K/cal/m ³
Metano	8500
Propano	22000
Butano	28000
Gás de cidade	4000
Gás natural	7600
Biometano	5500

FONTE: PIRES, N.J. Biogás – O aproveitamento dos resíduos orgânicos. Disponível na Internet <http://www.esb.ucp.pt/~bungah/pires/index.htm> – 03/01/2000.

Em relação à equivalência energética do biogás à outros materiais disponíveis PIRES (2000) ainda faz a consideração de que 1 m³ de biogás apresenta um poder calorífico equivalente à 6000 Kcal/m³ de metano o que representa 1,7 m³ de metano; 1,5 m³ de gás de cidade; 0,8 l de gasolina; 1,3 l de álcool; 2 kg de carboneto de cálcio; 7 Kw h de eletricidade; 2,7 kg de madeira; 1,4 kg de carvão de madeira; 0,2 m³ de butano e 0,3 m³ de propano.

3.3.2 Aproveitamento do Biogás

O processo de degradação anaeróbia transforma a matéria orgânica em gás carbônico, metano, água e biomassa, no qual a energia potencial do resíduo é transferida para a biomassa e metano. Desta forma, o conteúdo energético existente no biogás pode ser utilizado em substituição a combustíveis fósseis, reduzindo seu consumo e consequentemente evitando a concentração de CO₂, uma vez que o CO₂ produzido na combustão do metano recuperado, é considerado de ciclo fechado (CETESB, 2000).

De acordo com PIERRE e QUEZADA DORIA (1995), o aproveitamento deste biogás para a geração de energia é tradicionalmente retirado na área rural, sendo aproveitados restos de cultura e esterco para tal fim.

Segundo JORDÃO e PESSOA (1995), fazendo-se o estudo da viabilidade econômica e operacional, o aproveitamento do gás geralmente é apenas conveniente no caso de estações de grande porte, mas, em países de clima de frio, o biogás pode ser aproveitado como combustível para caldeiras ou para aquecimento do próprio reator.

Além de incentivar a racionalização do uso dos recursos naturais, minimizando o consumo de matérias primas e desenvolvendo mecanismos de redução da geração de resíduos, seu aproveitamento visa otimizar a matriz energética, utilizando um combustível renovável e abundante (CETESB, 2000).

A digestão anaeróbia dos lodos efetuada nos digestores produz energia que pode ser recuperada sob a forma de gás combustível (mistura de gás metano e gás carbônico), liberado pela digestão de matéria orgânica (ALMEIDA *et al.*, 1996). Esse gás, em projetos realizados na ETE São Miguel - SP, enche as cúpulas dos digestores sob pressão baixa, sendo parcialmente utilizado para produzir a agitação necessária à homogeneização do lodo no interior dos tanques, por meio de bombas que injetam o gás quase ao nível do fundo dos digestores, produzindo a agitação por borbulhamento. Os autores citam formas de utilização do gás, onde para os gases gerados na digestão primária (metano), foi projetada a instalação de um gasômetro para a estocagem dos gases gerados, sendo parte aproveitada para acionamento das caldeiras e os gases excedentes, queimados.

3.4 DESAGUAMENTO DO LODO

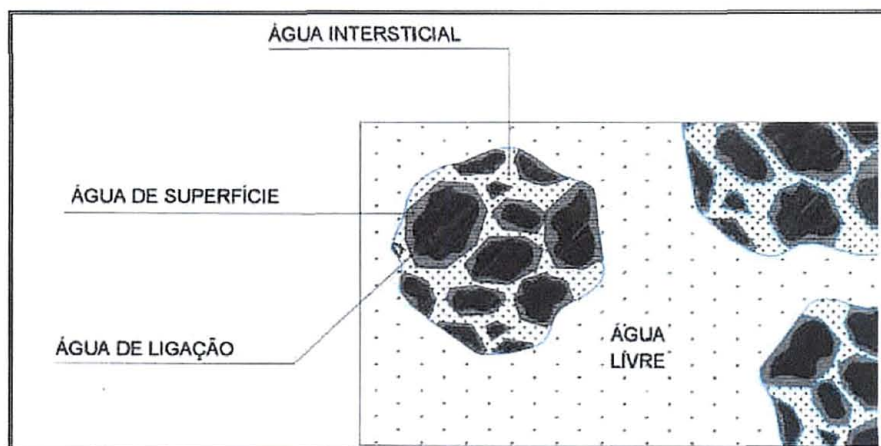
O lodo de esgoto contém um elevado teor de umidade, tornando imperiosa sua desidratação caso haja necessidade de qualquer operação subsequente do tratamento, tendo em vista ainda o transporte do lodo para destinação final (FERREIRA *et al.*, 1999d). Assim, a secagem do lodo se faz necessária para facilitar o destino final do mesmo, permitindo o seu manuseio e o uso como insumo agrícola (AISSE *et al.*, 1998).

Segundo OUTWATER (1994), a secagem do lodo provoca um enorme impacto nos custos de disposição do lodo: quando o lodo é desidratado de uma concentração de 2% de sólidos para 20% de sólidos o seu volume é reduzido em 90%.

VESILIND (1994) classifica a água contida nos lodos de forma operacional em 4 categorias, como também pode ser observado na figura 3.

- ♦ água removível ou livre - é aquela retida entre flocos de maneira similar a uma esponja, não estando associada com as partículas sólidas e pode ser facilmente separada por gravidade;
- ♦ água intersticial ou capilar - é a umidade do floco quando o lodo está em suspensão e está presente nos capilares quando a torta é formada;
- ♦ água vicinal, superficial ou coloidal – é a água não removível, sendo a umidade que está presa na superfície das partículas sólidas por adsorção e adesão;
- ♦ água de hidratação, intracelular ou de ligação – também é a água não-removível, é a água que está quimicamente ligada às partículas sólidas.

FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO LODO



FONTE: TSANG, K.R.; VESILIND, P.A. Moisture distribution in sludges. *Wat. Science and Tech.*, 22 (12), S.135-142. 1990

Em estudos feitos por SMOLLEN (1988) relataram que a água vicinal e a intersticial não podiam ser removidas por processos de desaguamento convencionais. ROBINSON e KNOCKE (1992) usando temperaturas constantes de 35 °C concluíram que toda água intersticial é retirada, ficando apenas a água vicinal e a de hidratação.

Embora haja considerável debate sobre os tipos e distribuição da água nos lodos, esta definição é útil na estimativa da quantidade de sólidos que pode ser obtida por desaguamento (ASCE; AWWA; EPA, 1996).

3.4.1 Processos de Desaguamento

O desaguamento de lodo, é uma operação unitária que reduz o volume do lodo em excesso por meio da redução do seu teor de água e sua capacidade varia de acordo com o tipo de lodo produzido. Esta variação está diretamente relacionada com o tipo de sólido e a forma com que a água está ligada às partículas do lodo. As principais razões para se efetuar o desaguamento são: redução do custo de transporte para o local de disposição final; melhoria nas condições de manejo do lodo, já que o lodo desaguado é mais facilmente transportado; aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da umidade com vistas a preparação para incineração e redução do volume para disposição em aterro sanitário ou uso na agricultura (GONÇALVES e LUDOVICE, 2000).

O lodo desidratado é mais fácil de ser manejado, seus custos de transporte são menores que de um lodo não desidratado e, em alguns casos, a desidratação é feita a fim de reduzir seus odores e sua putrescibilidade (METCALF e EDDY, 1991)

A seleção dos processos de secagem apropriados requer considerações do pré-tratamento e da disposição final do lodo, pois, diferentes concentrações de sólidos, são obtidos pelos diferentes processos de secagem. A secagem pode ser realizada através de processos naturais de secagem como o leito de secagem e lagoa ou através de processos mecânicos como filtro à vácuo, filtro prensa ou centrífuga (EPA, 1989; EPS, 1984).

3.4.1.1 Desidratação mecânica

De acordo com AISSE *et al.* (1998) os processos mecânicos ou artificiais utilizados para a secagem do lodo são os filtros prensa que são constituídos de placas de ferro entre as quais se prendem os panos filtrante; a prensa contínua de esteiras que apresenta duas correias sem fim em movimento contínuo, das quais pelo menos uma é constituída por uma tela filtrante; os filtros à vácuo onde o lodo é aspirado de fora para

dentro e fica retido em um pano e as centrífugas que tem por objetivo separar os sólidos da água por diferença de força centrífuga.

3.4.1.2 Desidratação natural

Os sistemas naturais de secagem, de acordo com AISSE *et al.* (1998) dividem-se em leitos de secagem que são geralmente unidades retangulares onde se processa a redução da umidade associada à drenagem e evaporação da água liberada durante o período exposto à secagem e as lagoas de secagem que tem a finalidade e funcionamento idênticos aos dos leitos de secagem, porém, com dimensionamentos, detalhes construtivos e operação um pouco diferenciados.

Os sistemas naturais são dependentes do clima, aspecto que favorece sua adoção em regiões quentes. O lodo também deve estar bem digerido para facilitar a drenagem e não provocar problemas de odores (FERREIRA *et al.*, 1999d).

3.4.2 Remoção da Umidade Através de Leitos de Secagem

A digestão do lodo ocorrida em digestores anaeróbios, confere ao lodo uma densidade menor que a unitária, assim, a tendência do material digerido é flutuar durante o processo de secagem acumulando-se na superfície, permitindo o desprendimento do líquido intersticial pela parte inferior do leito (AISSE *et al.*, 1998).

Os leitos de secagem são caixas com um sistema de drenagem, sobre a qual é colocada uma camada de britas, seguida de camadas de areia. Sobre a areia normalmente são assentados tijolos perfurados capazes de manter a estabilidade mecânica do sistema e ao mesmo tempo permitir a passagem do excesso de água. Os leitos geralmente ficam ao ar livre, mas podem também ser dotados de cobertura que impeça a entrada de água da chuva, porém, com aberturas laterais para facilitar a evaporação. No Paraná, vários estudos apontam para um ciclo de secagem com duração de 25 dias (FERREIRA *et al.*, 1999d).

Cada leito é operado individualmente e deve receber todo o volume a ser desaguado de uma só vez. O líquido drenado é recolhido por gravidade em poço de sucção e recalçado para a entrada da ETE (GONÇALVES E LUDOVICE, 2000).

Atualmente, a SANEPAR tem se utilizado de leitos de secagem especialmente para estações de pequeno porte, no interior do Estado.

O tempo necessário para um ciclo de secagem do lodo, num leito, se compõe de quatro períodos diferentes.

Onde: $T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$ (dias)

T_1 = Tempo para preparação do leito e descarga do lodo;

T_2 = Tempo de percolação;

T_3 = Tempo de evaporação para se atingir a fração desejada de sólidos;

T_4 = Tempo para remoção dos sólidos secos.

Os períodos T_1 e T_4 dependem essencialmente de fatores relacionados com a gerência do leito (AISSE *et al.*, 1999).

Segundo METCALF e EDDY (1991), dentre as vantagens do leito de secagem, podem-se citar: baixo custo, quando há terreno com disponibilidade acessível; não requer grande atenção e habilidade do operador; baixo consumo de energia e produtos químicos; menos sensível às variações do lodo e maior concentração de sólidos no lodo “seco” que os métodos mecânicos. Como desvantagens desse método, citam-se: requer grande quantidade de área; o lodo deve estar digerido; o projeto deve considerar efeitos do clima e a retirada do lodo do leito que requer mão de obra intensiva.

Segundo CANZIANI *et al.* (1996), para regiões de climas úmidos, os leitos de secagem são inviáveis tecnicamente. De acordo com JORDÃO e PESSOA (1995), o período de secagem varia de 12 a 20 dias para que o lodo atinja umidade de 60 a 70%. Já, ALÉM SOBRINHO e MIRANDA (1996) chegaram a resultados de 80% de umidade após 16 dias de secagem e 70% de umidade para 30 dias de secagem, para lodo adensado de reator UASB com 3,6% de sólidos e MCGHEE (1991) afirmou que é

possível conseguir teores de sólidos de 45 – 50% em um tempo de 35 dias num clima em condições normais.

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 (VAN HAANDEL e LETINGA, 1994).

3.4.2.1 Leito de secagem com cobertura plástica

Este procedimento de secagem é utilizado em alguns países europeus, não só para a secagem de lodo, mas também de produtos agrícolas e de madeira. Nestes países a temperatura média é significativamente menor e a umidade relativa média é maior que as observadas em nossas condições tropicais. Assim, o uso de estufas plásticas pode ser uma solução prática e viável tanto em climas mais quentes quanto em subtropicais como no sul do Brasil.

Estudos realizados pelo DMAE (1983) tiveram o objetivo de verificar o comportamento do lodo e sua desidratação, procurando introduzir modificações nos leitos de secagem e visando alterar características que provocassem a aceleração do processo. Foram estudados quatro tipos de leito, onde 3 ficavam a céu aberto e um foi coberto com lona plástica transparente. Foram efetuadas três descargas de lodo digerido nos leitos que eram constituídos de diferentes materiais na camada drenante. Os dados mostraram uma influência positiva da cobertura plástica na remoção da umidade do lodo. Na primeira observação, o lodo no leito coberto apresentou condições para remoção 30 dias após a descarga. O lodo foi removido com umidade em torno de 6%, mostrando que a cobertura plástica realmente incrementou a redução de umidade. A retirada do lodo na segunda observação foi efetivada 50 dias após a descarga com umidade de 11,83%.

Um programa de monitoramento da secagem do lodo em leitos foi estabelecido em Curitiba, apoiado numa instalação piloto (à nível experimental)

construída na PUC/PR e em leitos de secagem em escala real, localizados em área contígua a um RALF, situado na cidade da Lapa-PR. Os pilotos, em número de dois, coberto e descoberto, foram construídos em tubos de PVC, de aproximadamente 300 mm de diâmetro. Os resultados indicaram, nas instalações piloto, que a cobertura não foi um fator favorável na secagem do lodo. Entretanto, a coleta de amostras de lodo na superfície do leito, pode não representar o teor médio da umidade (ST) em toda a sua profundidade. Essa foi uma limitação observada no piloto de pequenas dimensões (AISSE *et al.*, 1998). A avaliação da secagem foi realizada nos ciclos de verão e de inverno. Os autores observaram que o leito de secagem piloto na PUC/PR apresentou um desempenho um pouco inferior ao da ETE-Lapa (escala real). Assim, este dado parece validar os tubos pilotos, como conservadores da umidade, os quais apresentam contrastes como o “efeito chaminé”, principalmente quando aquecidos diretamente pelo sol; (aceleração da secagem); ausência de vento na superfície (aspecto negativo) e coleta de lodo para análise, apenas na superfície (super estimação).

MENDONÇA *et al.* (2000) realizando trabalhos laboratoriais verificou a eficiência na secagem do lodo usando leito de secagem não-convencional (estufa) simulando um tratamento com biogás, leito convencional coberto e descoberto. A tabela 9 mostra os resultados obtidos para o teor de sólidos, expresso nas amostras antes e depois da secagem:

TABELA 9 – EFICIÊNCIA NA SECAGEM DO LODO UTILIZANDO LEITOS CONVENCIONAIS COBERTO E DESCOBERTO E LEITO NÃO CONVENCIONAL.

TIPO DE LEITO	AMOSTRA	TEMPO DE SECAGEM (dias)	TEOR DE SÓLIDOS (%)
	Lodo Bruto	-	2,8
1. Não convencional (T °C + ou – 50 °C)	1	1	21,8
	2	5	93,7
	3	10	95,1
2. Convencional descoberto	1	5	24,5
	2	15	28,4
	3	25	28,5
3. Convencional coberto	1	5	20,6
	2	15	29,6
	3	25	34,9

FONTE: MENDONÇA, L.C.; CAMPOS, J.R. Comparação do desempenho de 3 concepções de leitos de secagem na desidratação de lodo de Reator UASB. IN: IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Eng^a Sanitária e Ambiental. *Anais...* p.742-747. Porto Seguro/Ba. 2000.

Para CHERUBINI *et al.* (2000) o mesmo tratamento utilizando leito de secagem não-convencional (estufa) com simulação de biogás à 50 °C, por um período de 255 horas (10,6 dias) alcançou um teor de cerca de 80% de sólidos.

Segundo VAN HAANDEL e LETTINGA (1994) a cobertura serve para proteção contra chuva e as geadas ocorridas em climas frios. Ao se cobrir o leito de secagem abre-se a possibilidade de se usar a energia solar para aquecer o lodo durante a secagem, reduzindo dessa maneira a concentração de bactérias patogênicas. Esta “pasteurização solar” se torna particularmente importante se o lodo seco é utilizado na agricultura.

3.5 HIGIENIZAÇÃO DO LODO

Do ponto de vista biológico, o lodo concentra a maioria dos organismos presentes no esgoto sanitário, podendo se constituir em significativa ameaça à saúde pública. Neste contexto, a higienização tem como principal objetivo eliminar ou reduzir a densidade de microrganismos patogênicos, constituindo-se em importante ferramenta para a ampliação do leque de opções seguras para manuseio e disposição no solo (GONÇALVES e LUDOVICE, 2000).

3.5.1 Agentes Patogênicos

A origem da contaminação microbiológica do lodo de esgoto é principalmente devida ao material fecal contido no esgoto, portanto, dependente das características epidemiológicas da população que produz os efluentes lançados na rede coletora. Os agentes patogênicos do esgoto se concentram durante o processo de sedimentação, pois, grande parte dos organismos existentes co-precipitam junto às partículas orgânicas (SANEPAR, 2000).

Dentre os microrganismos do lodo são encontrados vírus, fungos, bactérias e parasitos (protozoários e helmintos) e embora a grande maioria seja inofensiva, alguns grupos de patógenos são considerados perigosos pelo risco que representam para a saúde humana e animal (SANEPAR, 2000)

Dentre os agentes bacterianos, os mais freqüentes são: *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Leptospira sp.* São exemplos de vírus: o vírus da hepatite A, *rotavirus*, *enterovirus*, *reovirus*. Os protozoários mais comumente encontrados são: *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli* e *Toxoplasma gondii*. Os principais helmintos são: *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris suum*, *Toxocara sp.* *Trichuris trichiura*, *Taenia solium*, *Taenia saginata*, *Necator americanus* e *Hymenolepis nana*. (HAYS, 1977; CARRINGTON, 1980; PIKE e DAVIS, 1984; EPA,1992).

3.5.1.1 Principais organismos presentes no lodo

Em relação aos patógenos presentes no lodo, estudos epidemiológicos tem mostrado que ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias representam maiores riscos para saúde humana e ou animal, pois, esses organismos apresentam um ampla distribuição geográfica, um grande tempo de sobrevivência, além de uma alta freqüência de parasitismo na população (THOMAZ-SOCCOL, 1998). Embora os cuidados em relação ao risco de contaminação pelo uso de lodo devam ser sempre

observados, estudos epidemiológicos demonstram baixa correlação entre a sua utilização e a incidência de doenças (EPA, 1985).

O desenvolvimento de tecnologias que visem a redução de microrganismos patogênicos do esgoto e do lodo, com vistas a possível reutilização do resíduo como insumo agrícola, tem como foco principal os ovos de helmintos, cuja dose infectante é de apenas um ovo (PASSAMANI, *et al.*, 1999).

Ao contrário da maioria dos patógenos existentes no lodo de esgoto, o ciclo biológico dos principais helmintos, inclui uma etapa de sua vida disperso no meio e consequentemente estes organismos desenvolveram formas resistentes a condições edáficas. Segundo THOMAZ-SOCCOL *et al.*, (1999), ovos de *Ascaris*, *Toxocara* e *Trichuris* são resistentes a uma ampla variedade de condições físicas e químicas, que os torna capazes de sobreviver por vários anos no solo.

Segundo estudos da USEPA (1985), o tempo de sobrevivência máximo comum de patógenos no solo é de 75 dias para bactérias, 12 dias para vírus, oito dias para protozoários e dois anos para ovos de helmintos. Para este último grupo o valor máximo absoluto pode chegar a sete anos, tornando-o o grupo de agentes patogênicos de maior preocupação para um processo de reciclagem agrícola do lodo de esgoto.

Em relação aos ovos de helmintos, não basta avaliar-se apenas seu aspecto quantitativo, mas também o aspecto relativo à viabilidade, que adquire grande relevância do ponto de vista epidemiológico. A viabilidade de um ovo de helminto é uma característica de primordial importância, já que de acordo com o ciclo de vida da maioria destes parasitas, os ovos fertilizados que são eliminados nas fezes de hospedeiro não serão infecciosos até que se transformem, dentro do ovo, em larvas de segundo estágio. Somente estes ovos, ao serem ingeridos por um novo hospedeiro, liberam suas larvas no intestino delgado e continuam seu ciclo normal para formar parasitas adultos, sendo que esta capacidade infectiva pode permanecer latente durante anos se as condições ambientais forem adequadas (GALVÁN e VICTORICA, 1998).

As atividades que possibilitam o contato direto com o lodo se dão através da distribuição do lodo; do manejo do solo de áreas onde o lodo foi aplicado e pelo

manejo de vegetais cultivados nestas áreas. O contato indireto pode acontecer pelo consumo de vegetais cultivados ou do leite e carne de animais criados em terrenos onde o lodo foi aplicado; pelo consumo de água ou de peixes provenientes de mananciais contaminados ou através de patógenos transportados por vetores que tenham tido contato com o lodo. (SILVERMAN e GRIFFITHS, 1955; EPA, 1992).

Em estudos feitos por THOMAZ-SOCCOL *et al.*, (1996) em reatores anaeróbios no Paraná, os ovos de *Ascaris lumbricoides* tiveram uma representatividade de 80 a 89,5% do total encontrado, sendo que o percentual de viabilidade variou de 43,7 a 17,3%, ou seja, o sistema anaeróbio chegou a inviabilizar de 56,3 a 82,7% dos ovos encontrados.

Estudos realizados em lodo seco apresentaram 15-37 ovos/l. de *Ascaris lumbricoides*, havendo uma redução desde a descarga do lodo no leito até sua desidratação de 13% (KÖNIG, 1999).

3.5.1.1.1 *Vírus*

Segundo MENDES (1981), partículas virais não se reproduzem fora de células hospedeiras e são espécie-específica. Exceção é feita aos reovírus e rotavírus e ao vírus da hepatite A, infectivo ao homem e a outros primatas e o vírus, que suscita maior preocupação sanitária quando da aplicação agrícola de lodos. Os vírus podem ser virtualmente eliminados por tratamento térmico e compostagem (EPS, 1984). A radiação solar, a predação e a competição minimizam de forma efetiva as possibilidades de infecção do vírus após a aplicação ao solo. MARTINS *et al.* (1986) enfatizam quanto aos vírus o risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

3.5.1.1.2 *Fungos*

Resultados de investigações sobre fungos em lodo de esgoto não são frequentes na literatura internacional. Um trabalho conduzido no Brasil com lodos da

Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental (CETESB) forneceu alguns indicativos sobre a presença do reino em amostras de lodo digerido aeróbio centrifugado, que apresentaram alta incidência de bolores – os gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Scedosporium*, *Penicillium*, *Cephalosporum*, *Verticillium* e *Trichoderma* com maior importância – e leveduras – com os gêneros *Candida*, *Trichosporum*, *Rhodotorula*, *Torulopsis* e *Geotrichum* (GAMBALE *et al.*, 1987).

3.5.1.1.3 Protozoários

Cistos de protozoários são poucos resistentes a stress de desinfecção do lodo e ambiental. Entre os organismos de maior interesse sanitário está *Entamoeba histolytica*. Processos de estabilização química não demonstram eficiência como neutralizantes de cistos de protozoários no lodo, mas processos de estabilização biológica são tidos como eficazes (USEPA, 1985). Em relação a cistos de protozoários, pesquisas desenvolvidas no Paraná (SANEPAR, 1997a) apontaram em lodos digeridos anaeróbios de alguns Ralfs de Curitiba a presença de *Isospora* sp., *Entamoeba coli*, *Giardia lamblia*, *Endolimax nana* e *E. histolytica*, sendo esta última espécie a mais frequente nas amostras. Nenhum cisto de protozoário foi observado em lodo digerido aeróbio da ETE Belém.

3.5.1.1.4 Bactérias

As bactérias são organismos típicos mais frágeis aos processos de tratamento de lodos e sua incidência é grandemente reduzida pela irradiação solar e desidratação do lodo. Tradicionalmente, coliformes e estreptococos fecais tem sido considerados como básicos ao monitoramento de lodos para reciclagem agrícola, assumindo importância também os gêneros *Salmonella* e *Shigella*. São de interesse especial para pastagens *Salmonella* sp., *Mycobacterium bovis* e *M. tuberculosis*, *Leptospira* sp. e *Brucella* sp., que poderiam infectar o gado (SANEPAR, 2000).

Em experimentos realizados em 1996 no Paraná (SANEPAR, 1997a), *Salmonella* spp. foi detectado em lodo digerido aeróbio, do qual foi eliminada

imediatamente após a incorporação do lodo ao solo, sem qualquer tratamento térmico ou químico. Pondera-se que a eliminação seja devida ao stress de competição com microrganismos autóctones do solo.

Em condições ótimas de aplicação, 92 a 97% dos coliformes são retidos no primeiro no primeiro centímetro de solo (USEPA, 1985) e são bastante raras as bactérias que ultrapassam 50 cm no perfil do solo. Já as micobactérias são transmitidas por ingestão ou inalação de dejetos infectados, sendo extremamente resistentes à desinfecção de lodos ou à inativação pelo ambiente e podem resistir por muitos meses em efluentes de estações de tratamento em condições de baixa temperatura da água e alta concentração de matéria orgânica (USEPA, 1985; EPS, 1984).

3.5.1.1.5 *Helmintos*

Os helmintos de interesse sanitário no lodo de esgotos são os nematóides pertencentes ao filo dos nematelmintos e a classe dos cestóides, pertencentes ao filo platelmintos. O ambiente encontrado em processos de tratamento de esgotos, são altamente propícios ao embrionamento dos ovos de helmintos (HAYS, 1977).

Ascaris lumbricoides é um nematóide de grande interesse por apresentar ovos de constituição particularmente resistentes e capazes de sobreviver no solo por até sete anos (SANEPAR, 2000). Pesquisas desenvolvidas por PAULINO *et al.* (1998) estabeleceram a necessidade de determinar não apenas a quantidade e espécies de ovos de helmintos, mas o percentual de viabilidade destes organismos em lodos digeridos e após o tratamento de higienização. Com isso, ganha importância fundamental o tipo de tratamento aplicado ao lodo digerido e aspectos de gerenciamento na estação de tratamento, como a estocagem.

HAYS (1977), acredita que o ambiente encontrado em processos de tratamento é propício ao embrionamento dos ovos de helmintos. Vários autores, trabalhando em diferentes condições, observaram que ovos de *Ascaris*, *Toxocara* e *Trichuris* são altamente resistentes a uma ampla variedade de condições físicas e

químicas e são capazes de sobreviver vários anos no solo (EPA, 1992) como mostra a tabela 10.

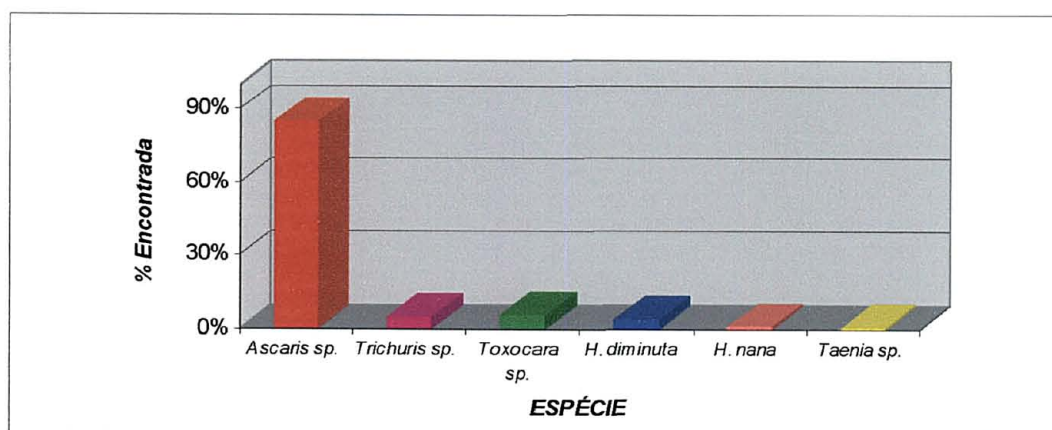
TABELA 10 - TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DE ALGUNS PATÓGENOS NO SOLO E SOBRE A SUPERFÍCIE DE PLANTAS.

Patógeno	Solo		Planta	
	Máx. absoluto	Más. comum	Máx. absoluto	Máx. comum
Bactéria	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	1 ano	3 meses	2 meses	1 mês
Cistos de protozoários	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

FONTE: ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under. Washington, DC, 1992. (EPA, n.40, CFR part 503).

Segundo trabalho realizado por THOMAZ-SOCCOL *et al.* (1999) os ovos de nematóides prevalecem sobre os de cestóides. *Ascaris* sp. foi o parasito que foi encontrado em maior quantidade nos lodos coletados em RALF's, superando 80% do total de ovos viáveis, como demonstra a figura 4.

FIGURA 4 - PORCENTAGEM DE OVOS DE HELMINTOS ENCONTRADAS NO LODO DE ESGOTO QUE RECEBEU TRATAMENTO EM RALFS (LODO ANAERÓBIO)



FONTE: THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI, C.V; LARA, A.I.; FERNANDES, F. (ORGS). Reciclagem de biossólidos : Transformando problemas em solução. Curitiba : Sanepar : Finep, 1999.

Segundo LEHMAN *et al.* (1984), após a aplicação de lodo, ovos de nematóides se concentram nos primeiros 2,5 cm do solo a partir da superfície numa distribuição não uniforme. A infestação por nematóides requer contato direto ou

ingestão de ovos. Este fator, além do declínio gradual do número de ovos após a exposição ao ambiente, afeta as possibilidades de infestação por esta fonte.

As figuras abaixo demonstram diferentes tipos de ovos de helmintos encontrados no esgoto e conseqüentemente no lodo de esgoto.

FIGURA 5 – Ovo fértil de *Ascaris lumbricoides*



FIGURA 6 - Ovo infértil de *Ascaris lumbricoides*



FIGURA 7 - Ovo de *Taenia* sp

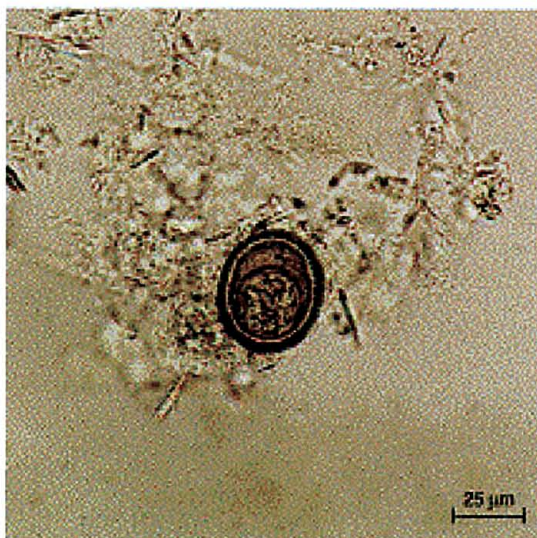


FIGURA 8 - Ovo de *Trichuris trichiura*



FONTE: AYRES, R. e MARA, D. **Analysis of wastewater of use in agriculture.** A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques : WHO, Geneva, 1996.

3.5.2 Processos de Higienização

Processos de tratamento que reduzem o número de ovos viáveis de helmintos, contribuem para a diminuição do risco de infecção humana e animal permitindo a utilização do lodo com o adubo orgânico (GONÇALVES e LUDOVICE, 2000).

O tratamento do lodo envolve uma série de processos que podem ser físicos, biológicos e químicos, visando a redução de patógenos, onde se destacam: digestão aeróbia, digestão anaeróbia termófila, compostagem, radiação beta e gama, pasteurização, tratamento térmico e calagem (THOMAZ-SOCCOL, 1998).

Os principais processos de higienização do lodo de esgoto são a compostagem, que elimina os agentes patogênicos pelo efeito da temperatura e tempo de exposição; a calagem, que associa a ação de altos níveis de pH ao calor gerado pelas reações químicas de hidratação da cal (óxido de cálcio); a secagem, que reduz os patógenos pela exposição aos raios solares ou ao calor (no caso de desidratação pelo uso de calor); o uso da radiação gama e a pasteurização. Existem diversos outros processos que associam os diferentes métodos ou que utilizam a mistura de outros materiais (como cinzas, resíduos de fabricação de cimentos) capazes de reduzir ou eliminar o potencial patogênico do lodo (SANEPAR, 1999a).

A compostagem e calagem, métodos bastante difundidos principalmente por seu baixo custo e facilidade de aplicação apresentam um inconveniente relacionado à quantidade ou volume final do produto, pois, os dois processos de higienização implicam no aumento correspondente do peso final a ser disposto. Desta forma, a secagem térmica é considerada como o principal processo que alia alta eficiência de higienização com redução do volume inicial do lodo, provocado pela perda de água (AISSE *et al.*, 1999).

Estudos realizados por PAULSRUD *et al.* (1999) já afirmaram que o processo de digestão anaeróbio aliado ao tratamento térmico mostra-se como o método mais flexível de aplicação e como solução para a melhor estabilização e desinfecção do lodo de esgoto.

3.5.2.1 Desinfecção através da temperatura

Dentre os patógenos ocorrentes no lodo, os helmintos, mais especificamente os nematóides e cestóides, são de grande interesse sanitário, pois o ambiente encontrado em processos de tratamento é propício ao embrionamento de seus ovos (SANEPAR, 2000).

A perda da umidade em processos que utilizam a temperatura eventualmente destrói ovos de helmintos e cistos de protozoários, mas algumas formas e particularmente *Ascaris* spp., são notavelmente resistentes à dessecação. Processos de estabilização química são parcialmente eficientes na eliminação dos ovos de helmintos, especialmente em relação a ovos de *Ascaris* spp., que parecem ser os mais resistentes a esses processos. Com isso ganha importância fundamental o tipo de tratamento aplicado ao lodo digerido e aspectos de gerenciamento na estação de tratamento, como a estocagem (SANEPAR, 2000).

A tabela 11 apresenta de forma sucinta a temperatura e o tempo necessários para a destruição dos organismos patogênicos encontrados no lodo de esgoto.

TABELA 11 – TEMPERATURA E TEMPO DE MANUTENÇÃO PARA A DESTRUIÇÃO DE ALGUNS ORGANISMOS.

Organismo	Tempo (minuto)	Temperatura (°C)
<i>Salmonella typhosa</i>	Instantâneo	55 a 60
	30	46
<i>Salmonella</i> spp.	15 a 30	60
	60	55
<i>Shigela</i>	60	55
<i>Escherichia coli</i>	5	70
	15 a 20	60
	60	55
<i>Estomoeba histolytica</i> (cistos)	Instantâneo	68
<i>Taenia saginata</i>	5	71
<i>Trichinella spiralis</i> (larvas)	Instantâneo	62 a 72
	60	50
<i>Necator americanus</i>	50	45
<i>Brucella abortus</i>	50	45
<i>Streptococos</i> fecais	60	70
Coliformes fecais	60	70
<i>Ascaris</i> spp(ovos)	60	55
	7	60

FONTE: ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Health effects of land application of municipal sludge.** Washington, DC : EPA, 1985.

O tratamento de lodo por digestão a temperaturas mesofílicas de até 34°C não elimina os ovos de helmintos, que resistem também à dessecação em leitos de secagem (REIFF, 1994). Por outro lado, há relatos de eliminação de até 97% de ovos após a digestão anaeróbia e redução de 99,6% em amostras de lodo após a secagem em prensa, apresentando alto grau de inativação de ovos após a alcalinização do meio acima pH 12 (MARTINS *et al.*, 1986). A digestão a temperaturas termofílicas (50°C ou mais) tem maior efeito sobre os ovos de helmintos. Assim, a compostagem se apresenta como um método de eliminação dos ovos, desde que atingido e mantido temperaturas superiores a 65°C por mais de sete horas (REIFF, 1994).

CHERUBINI *et al.*, (2000) realizaram um estudo identificando algumas características do lodo após secagem térmica em condições artificiais (estufa) expostos à temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C em diferentes tempos de permanência dentro da estufa, onde o principal item avaliado foi a eficiência na redução de patógenos (contagem e viabilidade de ovos de helmintos). Concluíram que a temperatura e o tempo de exposição do lodo de esgoto estão diretamente relacionados com a redução do número de ovos de helmintos viáveis, contribuindo para a melhoria das condições

sanitárias do lodo. Em relação ao tempo de exposição do lodo na estufa e a temperatura com a redução de ovos de helmintos à níveis aceitáveis, o estudo mostrou que o tempo para uma temperatura de 50°C se dá a partir de 48 horas e para 80°C já na primeira coleta aos cinco minutos se mostraram eficientes.

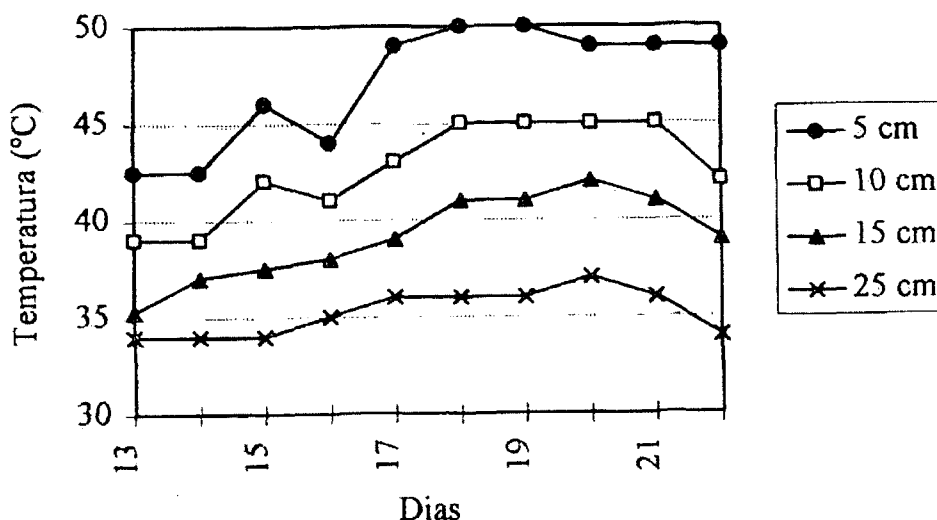
3.6 SOLARIZAÇÃO

A solarização baseia-se no aproveitamento da energia solar por intermédio de um filme plástico transparente (KATAN *et al.*, 1976), de espessura reduzida, que se coloca sobre a superfície do solo úmido, provocando uma elevação da temperatura e destruindo os agentes patogênicos e infestantes (KATAN e DE VAY, 1991).

Atualmente, é um método avaliado e aplicado à solo em cerca de trinta e oito países tendo utilização já à escala comercial nos Estados Unidos, Israel, Itália e Japão (KATAN e DE VAY, 1991).

A cobertura de um filme plástico transparente promove a elevação da temperatura do solo pela energia solar, em repetidos ciclos diários como mostra a figura 9, considerando que, quanto maior a profundidade menores serão as temperaturas atingidas pelo material exposto (GHINI, 1997).

FIGURA 9 – TEMPERATURA DO SOLO SOLARIZADO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM FEVEREIRO DE 1990, EM JAGUARIÚNA, SP.



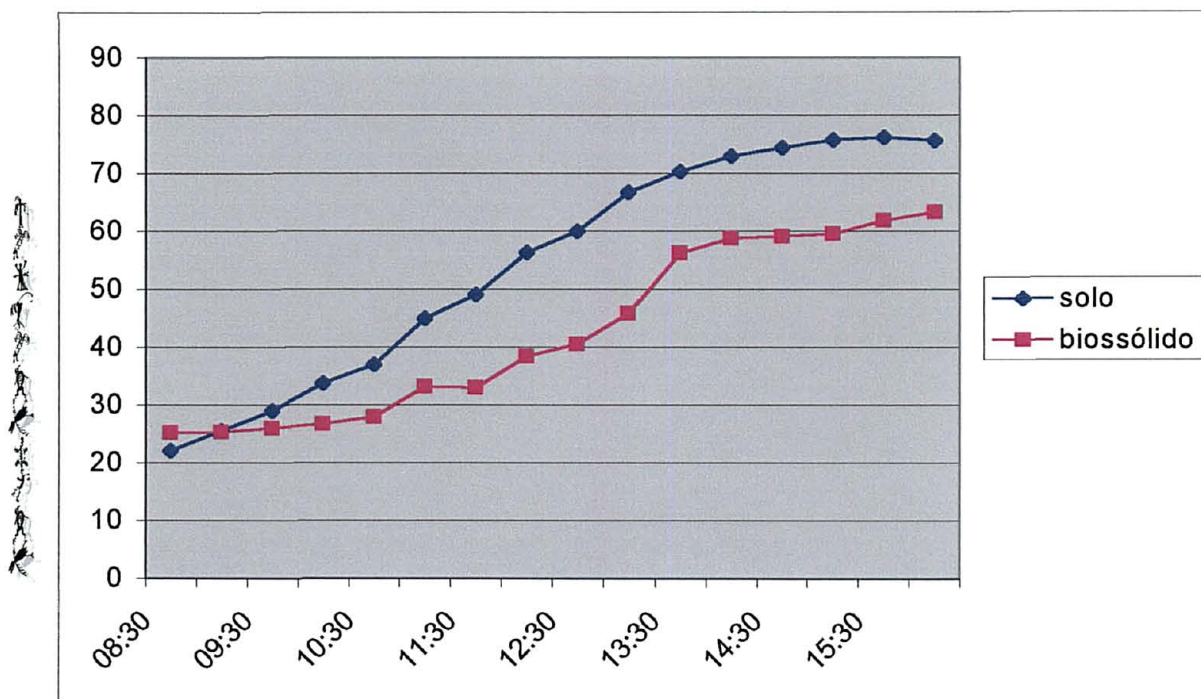
FONTE: GHINI, R. Desinfestação do solo com o uso de energia solar: solarização e coletor solar. Jaguariúna: EMBRAPA – CNPMA, 1997. 29p. (EMBRAPA – CNPMA. Circular Técnica, 1).

A inativação térmica dos diversos patógenos segue, de modo geral, o modelo exponencial, de forma que quanto menor a temperatura é necessário um tempo maior de exposição para ocorrer a inativação das estruturas do patógeno situadas nas camadas mais profundas do material. Parte da população do patógeno morre por efeito direto da elevação da temperatura, especialmente as estruturas localizadas na superfície, onde as maiores temperaturas são atingidas.

Recomenda-se realizar o tratamento de solarização durante o período de maior intensidade de radiação solar. Em Jaguariúna, um levantamento das temperaturas do solo solarizado, feito por GHINI *et al.* (1997), mostrou que, para a região, o período do ano mais favorável à solarização é setembro/março, porém, as maiores temperaturas no solo solarizado são atingidas em novembro/janeiro.

Testes preliminares feitos por GHINI e BETTIOL, (2000) (Comunicação pessoal) comparando o efeito do processo de solarização em solo e em lodo de esgoto, demonstram que as temperaturas alcançadas pelo solo no mesmo período, foram mais elevadas que no lodo, demonstrando uma certa resistência do material ao aquecimento e transferência de calor, como mostra a figura 10.

FIGURA 10 – TEMPERATURA DO SOLO E DO BIOSSÓLIDO DA ETE – FRANCA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR EM DEZEMBRO DE 1999, EM JAGUARIÚNA, SP



FONTE: GHINI, R. e BETTIOL, W. Avaliações de temperatura no solo e lodo através da energia solar. (Comunicação pessoal) 2000.

Os resultados demonstram que para o mesmo tempo de exposição o solo atinge temperaturas superiores ao bio sólido.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL E CLIMA DO EXPERIMENTO

O aparato experimental foi instalado na Companhia de Saneamento do Paraná, nas dependências da estação de tratamento de esgoto Guaraituba, no bairro Guaraituba, situada no município de Colombo-PR, na região metropolitana de Curitiba, e segundo a classificação de KOEPPEN sob clima cfb, mesotérmico úmido, com temperaturas médias do mês mais quente menor que 22 °C e mês mais frio menor que 18 °C, com geadas severas e freqüentes, sem estação seca, com latitude 25°26' e longitude 49°16' à 947 metros de altitude (IAPAR, 1978).

O tratamento de esgoto coletado é por digestão anaeróbia em sistema denominado Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF) recebendo e tratando esgoto essencialmente doméstico.

A população de projeto é de 64.125 habitantes, mas, atualmente recebe esgoto de 26.325 habitantes, apresentando uma vazão de entrada de 46,88 L/s, com um tempo de retenção dentro do digestor de aproximadamente seis horas.

FIGURA 11 – ENTRADA DO REATOR ANAERÓBIO



4.2 TRATAMENTOS

Os tratamentos utilizados no experimento tiveram o objetivo de verificar o comportamento do lodo em relação à sua secagem e desinfecção, procurando introduzir modificações no leito, visando alterar características que provocassem a aceleração dos processos. Assim, foram estudados, em quatro leitos de secagem, medindo 10,0 x 5,0m, oito processos diferenciados que consistiram nos referidos tratamentos, sendo que quatro deles, foram cobertos com filme transparente 100 μ UV, dois ficaram a céu aberto e dois foram cobertos com filme plástico transparente, constituindo os tratamentos de solarização.

Assim, os oito tratamentos utilizados seguem:

1. Testemunha com revolvimento;
2. Testemunha sem revolvimento;
3. Estufa plástica com revolvimento;
4. Estufa plástica sem revolvimento;

5. Estufa plástica com biogás e com revolvimento;
6. Estufa plástica com biogás e sem revolvimento;
7. Solarização com revolvimento;
8. Solarização sem revolvimento.

Nos tratamentos 5 e 6, tendo o leito de secagem coberto por estufa plástica, foram instalados 3 conjuntos de fogareiro-chapéu sobre duas tubulações de biogás no centro do leito a 0,5 m da superfície do lodo, para queima dos gases gerados no processo de tratamento do esgoto, com o objetivo de aumentar a temperatura interna da estufa.

4.3 CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

O experimento contou com quatro leitos de secagem medindo 10,0 x 5,0m, divididos ao meio por uma mureta com 0,5 m de altura, caracterizando assim, oito leitos medindo 5,0 x 5,0m. As estufas plásticas tipo “Túnel Hermano” utilizando filme plástico transparente 100 μ UV foram colocadas sobre dois leitos de secagem.

FIGURA 12 – ESTUFAS PLÁSTICAS SOBRE O LEITO DE SECAGEM



Na mureta que subdividiu os leitos foi colocado uma comporta para permitir a passagem do lodo líquido no momento da descarga. As figuras abaixo mostram uma das descargas ocorridas e a divisão dos leitos de secagem.

FIGURAS 13 E 14 – MOMENTO DA DESCARGA DE LODO E DIVISÓRIA DOS LEITOS DE SECAGEM.



Nos leitos com estufa plástica foi instalado um termômetro para cada tratamento e um termohigrômetro localizado no centro da estufa para medir a umidade relativa interna.

4.3.1 Instalação do Biogás

O biogás, sub produto do tratamento anaeróbio do esgoto, liberado pelas estações de tratamento para a atmosfera, foi utilizado para aquecimento e consequente aumento da temperatura dentro das estufas plásticas nos tratamentos 5 e 6.

Por ser um gás poluente e por apresentar-se como energia alternativa buscou-se otimizá-lo dentro do processo de secagem e higienização do lodo de esgoto, canalizando a partir da tubulação do RALF até o leito de secagem, como mostra a figura 15.

FIGURA 15 - TUBULAÇÃO DO BIOGÁS EM PVC COM SAÍDA DO RALF PARA A ESTUFA.



O possível retorno do gás ao RALF poderia ocasionar uma explosão, assim, buscou-se uma alternativa que oferecesse segurança à estação e que fosse economicamente viável. Uma das possibilidades foi a instalação de uma válvula corta-chamas situada na canalização interna à estufa, próximo aos bicos queimadores, porém, economicamente, em escala real, o custo ficaria impraticável. Assim, buscou-

se através da construção do selo hídrico, uma maneira econômica e segura de evitar o retorno do gás ao RALF, como mostra a figura abaixo.

FIGURA 16 - VISTA DO SELO HÍDRICO LOCALIZADO PRÓXIMO À ESTUFA PARA EVITAR O RETORNO DO GÁS AO RALF.



Toda canalização externa foi construída em tubos de PVC e a interna em ferro galvanizado, à 0,5 m do fundo do leito de secagem, instalando-se quatro bicos queimadores em cada tratamento.

FIGURA 17 - TUBULAÇÃO DE FERRO LOCALIZADA NO INTERIOR DA ESTUFA.



No início do experimento, as chamas se apresentavam muito altas, e não contavam com nenhuma proteção. A estrutura da estufa, construída apenas com canos de PVC, não resistiu às temperaturas elevadas, apesar das chamas permanecerem ligadas por um período aproximado de 10 h/dia.

Em decorrência desses problemas, para a segunda descarga foram necessárias adaptações, como a instalação de uma capela de ferro sobre os bicos queimadores com a função de evitar que a chama se espalhasse dentro da estufa prejudicando sua estrutura; a colocação de vergalhões de ferro dentro das estruturas de PVC mantiveram a estufa com capacidade para suportar temperaturas elevadas; a desativação de dois bicos queimadores, um em cada tratamento, onde as chamas permaneceram ligadas praticamente 24 h/dia, porém, com variação na intensidade e número de chamas acesas, fato decorrente da instabilidade na produção de biogás, que varia em relação às características do afluente, pois, quando as chuvas são mais intensas ou ocorrem com maior frequência, a produção do biogás diminui sensivelmente.

Na terceira descarga, o diâmetro da tubulação, tanto externa quanto interna, foi modificado com a finalidade de promover a melhor distribuição das chamas em todos os bicos.

FIGURA 18 – CAPELA DE FERRO COLOCADA SOBRE A CHAMA PARA EVITAR DANIFICAÇÃO NA ESTRUTURA PLÁSTICA.



4.4 PARÂMETROS AVALIADOS E AMOSTRAGEM

Foram efetuadas três descargas do lodo digerido anaerobiamente dentro dos leitos de secagem, nos meses de novembro de 1999, janeiro e fevereiro de 2000, relacionando assim, períodos muito quentes com precipitação intensa, condição esta que tende a aumentar a permanência do lodo em leitos descobertos, pois o processo de secagem do material é prolongado. O período de avaliação para cada descarga foi de 28 dias. Após as descargas (t_0), além do teor inicial de sólidos do lodo, foram determinados periodicamente os seguintes parâmetros:

1. Temperatura e umidade relativa externa à estufa (3 determinações diárias), utilizando higrômetro;
2. Temperatura e umidade relativa interna à estufa (3 determinações diárias), utilizando higrômetros e termômetros, sendo um termômetro para cada tratamento e um higrômetro disposto no centro da estufa;
3. Temperatura do lodo (3 determinações diárias), utilizando Termopar;

4. Níveis de ovos de helmintos pela metodologia demonstrada por YANKO (1987);
5. Teor de umidade do lodo utilizando metodologia proposta pelo STANDARD METHODS (1998).

As análises do lodo em relação à ovos de helmintos foram realizadas a cada cinco dias e teve por objetivo a caracterização do níveis de contaminação discriminando o número e a viabilidade de ovos de helmintos. A metodologia para a determinação foi realizada por diluição, centrifugação e contagem em Câmara de Sedwick e Ratter e da viabilidade após incubação à 28°C por quatro semanas, conforme descrito por YANKO modificado por THOMAZ-SOCCOL (2000). Essas análises foram realizadas no laboratório da UFPR/SCB/Patologia Básica.

O revolvimento do lodo dentro dos leitos foi realizado manualmente a cada sete dias, utilizando-se rastelos, tendo como objetivo a exposição das camadas inferiores do lodo para a superfície.

Para determinação da umidade do lodo, as amostragens foram realizadas a cada 48 horas, coletando-se três sub amostras de cada tratamento em pontos diferentes do leito de secagem e posteriormente fez-se uma única amostra composta, evitando-se o material próximo às bordas do leito. Estas amostras foram condicionadas diretamente nos recipientes utilizados na secagem, previamente numeradas. A amostra foi homogeneizada e colocado cerca de 30 g dentro dos cadinhos, também previamente numerados e pesados. Para o procedimento com a secagem em estufa o termostato foi regulado para 105°C, podendo-se obter o peso seco em 12 horas. A fórmula utilizada para o cálculo da umidade foi:

$$U(\%) = \frac{PU(g) - PS(g)}{PU(g)}$$

Sendo:

U = umidade

PU = peso úmido

PS = peso seco

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS CLIMÁTICOS

No processo de secagem natural, os fatores ambientais como precipitação e insolação são imprescindíveis para avaliação da eficiência na remoção da umidade e na inviabilização dos ovos de helmintos presentes no lodo.

A tabela 12 mostra os valores médios mensais para os fatores mencionados, durante o período de avaliação.

TABELA 12 – DADOS MÉDIOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO PARA OS MESES DE NOVEMBRO (1999), JANEIRO E FEVEREIRO (2000).

MESES	INSOLAÇÃO (horas)	PRECIPITAÇÃO (mm)
NOVEMBRO (1999)	165,0	46,6
JANEIRO (2000)	133,7	109,6
FEVEREIRO (2000)	104,4	206,1

O observado é o que predomina na região, ou seja, o período de precipitação se intensifica nos meses de janeiro e fevereiro, conseqüentemente, a insolação no período diminui. O conjunto desses dois fatores explica a ação proporcionada nos tratamentos com e sem estufa.

Dentre os fenômenos diversos, pode-se destacar o granizo ocorrido no dia 23/11/2000, portanto, durante a primeira descarga correspondendo à primeira avaliação. Este fenômeno, prejudicou um pouco a estrutura física das estufas.

5.2 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE PATÓGENOS NOS DIFERENTES TRATAMENTOS

Os ovos de helmintos foram escolhidos como indicadores da sanidade do lodo por serem comprovadamente os organismos mais resistentes aos processos de higienização, portanto, teoricamente quando estes forem eliminados, outros organismos patogênicos como por exemplo as bactérias também estarão controladas.

Há que se destacar, que mesmo uma contagem “zero” não garante que o lodo esteja completamente livre dos ovos de helmintos, tendo em vista que nenhuma das metodologias de enumeração garantem um percentual de recuperação de 100% dos ovos eventualmente presentes nas amostras processadas. Outro fator considerando a contagem e viabilidade diz respeito à própria coleta de amostras, pois a distribuição dos ovos torna-se muito heterogênea ao longo do perfil.

Os resultados da tabela 13 mostram os valores iniciais, finais e a porcentagem de redução de ovos de helmintos nos oito tratamentos estudados, comparando as três descargas de lodo realizadas.

TABELA 13 – VIABILIDADE DE OVOS DE HELMINTOS NOS OITO TRATAMENTOS ESTUDADOS CONSIDERANDO AS TRÊS DESCARGAS REALIZADAS E O PERCENTUAL DE REDUÇÃO EM CADA TRATAMENTO.

	Test. c/ revolv.	Test. s/ revolv.	Est. c/ revolv.	Est. s/ revolv.	Est. c/ biogás c/ revolv.	Est. c/ biogás s/ revolv.	Solar. c/ revolv.	Solar. s/ revolv.
1ª descarga								
Inicial	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
Final	8,58	5,71	6,7	5,12	5,03	4,93	0,34	1,44
Redução (%)	36,44	57,70	50,37	62,07	62,74	63,48	97,48	89,33
2ª descarga								
Inicial	49,82	49,82	49,82	49,82	49,82	49,82	49,82	49,82
Final	7,33	9,75	19,87	15,13	5,06	3,99	9,16	6,54
Redução (%)	85,29	80,43	60,12	69,63	89,84	91,99	81,61	86,87
3ª descarga								
Inicial	58,43	58,43	58,43	58,43	58,43	58,43	58,43	58,43
Final	17,33	21,11	27,07	29,09	9,05	17,37	9,33	7,91
Redução (%)	70,34	63,87	53,67	50,21	84,51	70,27	84,03	86,46
Média de redução (%)	64,02	67,33	54,72	60,64	79,63	75,25	87,71	87,55

Na estação de tratamento duas fontes de energia de baixíssimo custo são a queima dos gases gerados durante o tratamento e a energia solar captada pelo efeito

estufa. A colocação de filme plástico transparente sobre a estufa, visando criar o efeito estufa, também protege os leitos das chuvas. É importante ressaltar que tanto a elevação da temperatura quanto a redução da umidade tem efeito desinfectante.

Para que uma espécie possa sobreviver e multiplicar-se em dada situação necessita encontrar no meio todos os materiais e condições indispensáveis à sua fisiologia. As necessidades variam de espécie para espécie, sendo que para o caso dos helmintos, de acordo REY (1991) dentre os agentes físicos mais importantes como fatores limitantes, deve-se destacar a temperatura, a luz, o oxigênio e a água ou a umidade, sendo esta diretamente relacionada com a temperatura. A ação da temperatura nos tratamentos que utilizaram estufa, biogás e solarização tornam-se totalmente benéficas na ação contra os helmintos, pois, o aumento da temperatura faz com que enzimas, principalmente a albumina que faz parte da constituição do microrganismo, diminuam ou percam totalmente sua capacidade funcional, sendo sua estrutura totalmente modificada pelo efeito térmico.

Já a umidade juntamente com a incidência solar e a temperatura, constitui importante fator limitante ao desenvolvimento fisiológico do microrganismo, pois o teor de água do meio pode modificar efeitos da temperatura sobre os organismos.

Em relação à umidade do lodo para o processo de higienização pode-se considerar que cistos de protozoários, ovos e larvas de alguns helmintos pertencentes ao filo dos platelmintos mostram-se geralmente muito mais sensíveis à dessecação, quando encontrados no meio exterior (REY, 1991). Assim, relacionando os dados de eficiência de secagem e desinfecção percebe-se que na segunda e terceira descargas esta reação ocorreu nos tratamentos estufa com biogás e estufa com biogás e revolvimento, mostrando a inter-relação entre a falta de umidade com a inviabilização dos ovos. Porém, verificando os resultados para helmintos nos tratamentos solarização e solarização com revolvimento, percebe-se que os resultados foram bem satisfatórios, tendo uma situação totalmente contrária à anterior, pois, a quantidade de água foi bem superior aos outros tratamentos. O que ocorre nesse caso é a inviabilização pelo aumento da temperatura da água que conduz o calor até a massa de lodo.

Assim, serão encontrados nos resultados do trabalho valores que preconizam a ação da umidade como fator limitante induzida pelos casos: inviabilização dos ovos por dessecação, pela falta de água ou pelo excesso de umidade e pelo aquecimento da mesma.

A discussão abaixo mostra os resultados separadamente para os fatores utilizados nos tratamentos, considerando sua ação diante da higienização do material.

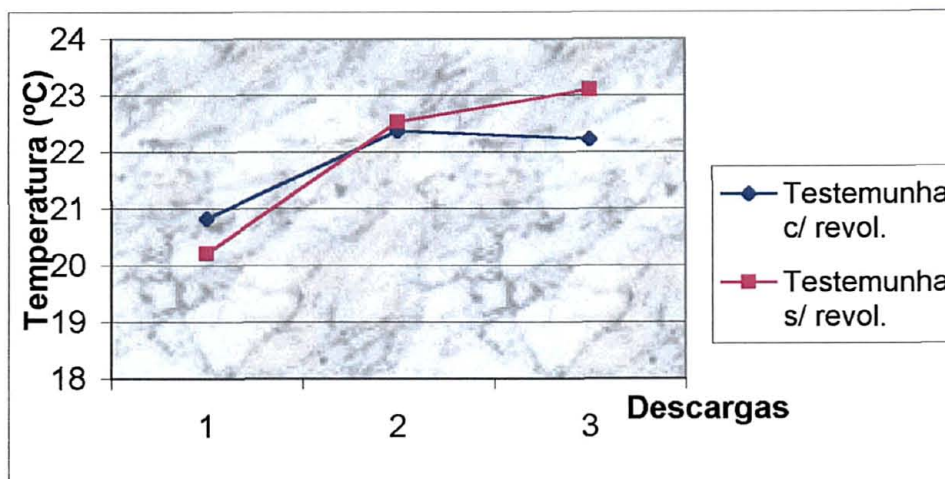
5.2.1 Testemunha

Os tratamentos testemunha e testemunha sem revolvimento não utilizaram nenhum outro fator de aquecimento além da energia solar, ficando os leitos descobertos. Porém, como o experimento foi realizado à campo e não em escala laboratorial, tem-se a influência dos fatores ambientais, principalmente a chuva, considerando ainda que todos os outros tratamentos apresentaram uma maneira de acumulo o calor, o que não ocorreu com esses tratamentos.

Os valores observados na tabela 13 mostram o bom desempenho dos leitos de secagem como forma de higienização do lodo de esgoto, chegando à 57,7%, 85,29% e 70,34% de redução na primeira, segunda e terceira descargas, respectivamente.

Os resultados obtidos de 36,44 e 57,7% na primeira descarga para a testemunha com revolvimento podem ser explicados pelas condições de temperatura que a massa de lodo conseguiu atingir, inferiores aos outros tratamentos, chegando num máximo de 23 °C, como mostra a figura 19.

FIGURA 19 – TEMPERATURAS MÁXIMAS ATINGIDAS PELA MASSA DE LODO NOS TRATAMENTOS TESTEMUNHA COM E SEM REVOLVIMENTO.



Porém, na segunda descarga os mesmos tratamentos chegaram à 85,29 e 80,43% e na terceira descarga obtiveram valores de 70,34 e 63,87%, sendo superiores até mesmo aos tratamentos que utilizaram estufa, podendo-se verificar pela tabela 14 que a temperatura máxima média do lodo na testemunha com e sem revolvimento durante a segunda e terceira descargas foram superiores à primeira.

O comportamento da temperatura ambiente, sendo esta considerada juntamente com a precipitação como fatores importantes para o desempenho do tratamento testemunha com e sem revolvimento, e mesmo apresentando um índice de precipitação de 46,6 mm – o menor dos três meses de avaliação - e maior insolação verificada, a tabela 14 mostra a temperatura ambiente obtida para os três meses de experimento.

TABELA 14 – TEMPERATURA AMBIENTE MÍNIMA E MÁXIMA NOS TRATAMENTOS TESTEMUNHA COM E SEM REVOLVIMENTO

	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)
1ª descarga	20,0	29,9
2ª descarga	16,7	28,8
3ª descarga	22,0	30,0

Os valores de temperatura são iguais para os dois tratamentos, pois, os dois ficaram no ambiente, portanto, não havia necessidade de duas medições para tratamentos que estavam expostos às mesmas condições ambientais.

O objetivo na realização do revolvimento considerando o fator patógenos, era expor as camadas inferiores de lodo, que estão localizadas mais próximas ao fundo do leito, onde estão mais protegidas, para a superfície com a finalidade de que estas recebessem maior exposição ao calor proporcionado pela estufa, pela solarização e pela queima do biogás.

De maneira geral, observando os dados médios de redução da tabela 13 há uma leve tendência mostrando que os tratamentos com revolvimento foram menos eficientes na redução da viabilidade dos ovos de helmintos. Essa constatação pode ser explicada pelo fato de que a oxigenação proporcionada pelo revolvimento forneceu condições mais apropriadas e favoráveis de desenvolvimento aos ovos, sendo superiores até mesmo que o fator aquecimento proporcionado pelas características dos tratamentos com estufa e biogás.

Os ovos de helmintos não sobrevivem em ambiente anaeróbico por muito tempo, assim, mesmo estando exposto em condições mais amenas de temperatura, os tratamentos sem revolvimento mostraram-se mais eficientes na inviabilização dos ovos, pois o ambiente anaeróbico era mais intenso. Em relação à esse fator, REY (1991) já afirmou que para organismos aeróbios que vivam em um meio pobre em oxigênio, este pode ser o fator que condicionará os limites de dispersão e a densidade da população ou mesmo, a sobrevivência da espécie nesse meio.

5.2.2 Estufa Plástica

A estufa plástica sem associação à outro fator de tratamento não demonstrou aumento na inviabilização dos ovos de helmintos, quando comparado com a testemunha. Isso pode ser explicado pelas condições favoráveis que proporcionou aos tratamentos e conseqüentemente às condições de sobrevivência dos patógenos.

A temperatura média interna nos tratamentos com estufa com e sem revolvimento não ultrapassou 40 °C.

A maior temperatura interna atingida nos tratamento com estufa com e sem revolvimento ficou em torno de 37 °C, como mostra a tabela 16. Essa temperatura no ambiente torna-se totalmente favorável ao desenvolvimento dos ovos, associando-se ainda a umidade do lodo e ao oxigênio presente, principalmente na estufa onde havia o processo de revolvimento. A viabilidade de ovos foi superior até mesmo nos tratamentos testemunha que não apresentaram cobertura.

Em conseqüência da temperatura dentro da estufa não conseguir atingir altos índices, o lodo também procedeu da mesma maneira, demonstrando ainda a resistência que o lodo apresenta em aquecer e transmitir o calor para sua massa. A tabela 15 demonstra as maiores temperaturas atingidas pelo lodo e pelo ar dentro da estufa.

TABELA 15 – TEMPERATURAS MÁXIMAS ATINGIDAS PELO LODO E INTERIOR DA ESTUFA COM E SEM REVOLVIMENTO.

	T °C interna da estufa c/ revolv	T °C do lodo da estufa c/ revolv.	T °C interna da estufa	T °C do lodo da estufa
1ª descarga	35,4	27,5	36,4	27,2
2ª descarga	34,4	28,7	35,7	28,4
3ª descarga	37,0	29,9	36,6	30,3

A máxima atingida pelo lodo nos tratamentos foi de aproximadamente 30° C, temperatura esta totalmente favorável ao desenvolvimento do patógeno.

A elevação da temperatura e o conseqüente aumento da evaporação resultaram no aumento da umidade relativa, que foi reduzida com o manejo da estufa através da

abertura das cortinas laterais objetivando a renovação do ar. A movimentação do ar no interior da estufa propiciou o aumento da evaporação e para maximizar esta evaporação foi necessário o revolvimento da massa de lodo para expor as superfícies mais úmidas.

O processo do revolvimento nos tratamentos com estufa foi o único resultado com influência negativa, que pode ser explicado pela exposição superficial dos patógenos à temperaturas totalmente favoráveis proporcionadas pela estufa.

5.2.3 Estufa com Queima de Biogás

A recuperação de um subproduto liberado pelas estações de tratamento considerado poluidor e o fato de ser considerado como energia alternativa desperdiçada, foram os aspectos mais importantes na definição da utilização do biogás no experimento.

É importante salientar que tanto o biogás quanto o lodo de esgoto são subprodutos poluentes e que são gerados através do sistema de tratamento de esgoto, o que significa que conduz à uma produção permanente. Isso significa que o biossólido não é gerado para uma demanda específica da agricultura, mas como um subproduto do tratamento. Assim, a utilização ou o aproveitamento do biogás entra no processo com a mesma função. O aproveitamento do biogás, quando utilizado adequadamente torna os processos de higienização mais baratos, pois, é um sistema que apresenta custo muito baixo e por ter influência na redução da umidade, diminui o volume final do lodo.

A tabela 13 mostra que os tratamentos que utilizaram estufa aliado ao biogás, obtiveram resultados de 62,74 e 63,48%, com e sem revolvimento para a primeira descarga. Já o resultado da segunda descarga foi bem superior ao da primeira, chegando à 89,84 e 91,99% de redução de ovos viáveis. Isso pode ser explicado pelas ótimas condições de funcionamento do sistema de biogás dentro da estufa, já que as chamas permaneceram ligadas praticamente por um período de 24 horas/dia, com

diferenças apenas na intensidade e na quantidade de chamas acesas. Na primeira descarga as chamas permaneceram ligadas por um período de dez horas/dia, o que não possibilitou um acúmulo maior de calor dentro da estufa, permitindo seu resfriamento no período da noite. Na terceira descarga, a eficiência caiu para 84,51 e 70,27% na redução de ovos viáveis, que pode ser explicado pelas adaptações das canalizações já descritas no item 4, que diminuíram a eficiência das chamas.

No interior das estufas, nos tratamentos com biogás com e sem revolvimento as temperaturas foram muito elevadas, chegando à 90 °C. Essas temperaturas muitas vezes dificultavam as leituras de umidade relativa (pois o equipamento ficava no centro da estufa) e da própria temperatura da massa do lodo, como mostra a tabela 16. As temperaturas do lodo no tratamento com revolvimento foram menores, pois, as camadas mais frias foram expostas para a superfície. Como já foi afirmado, este material apresenta uma baixa transferência de temperatura, determinando que as camadas superficiais, expostas diretamente ao calor fiquem mais quentes, gerando um gradiente térmico na massa de lodo. Testes isolados de temperatura do lodo mostraram que as camadas superiores apresentam temperaturas relativamente maiores que as mais profundas, pois, são influenciadas pela ação do calor emitidas pela energia solar, biogás e estufa.

Como resultados na massa de lodo, os tratamentos com biogás com e sem revolvimento apresentaram bons resultados, como demonstra a tabela 16.

TABELA 16 – TEMPERATURAS MÉDIAS ATINGIDAS PELO LODO E INTERIOR DA ESTUFA COM BIOGÁS COM E SEM REVOLVIMENTO.

	T °C interna da estufa c/ biogás e revolv	T °C do lodo da estufa c/ biogás e revolv	T °C interna da estufa c/ biogás	T °C do lodo da estufa c/ biogás
1ª descarga	53,0	29,9	58,0	31,5
2ª descarga	70,0	37,0	78,0	36,4
3ª descarga	71,0	35,3	76,0	36,8

É evidente que esses valores ainda são muito baixos e insuficientes para inviabilizar todos os ovos presentes no lodo, porém, é um alternativa que favorece a

utilização do biogás como fonte energética, além de fazer seu reaproveitamento e impedir sua liberação para a atmosfera.

Os níveis de redução dos ovos observados, embora não alcancem os níveis exigidos pelas normatizações, reduzem consideravelmente o risco de contaminação, podendo ser associado a uma calagem com uma redução significativa na quantidade de cal.

5.2.4 Solarização

Através dos resultados da tabela 13 pode-se observar que, para o processo de higienização os tratamentos utilizando a solarização foram os que mostraram uma maior tendência para a inviabilização dos ovos de helmintos. No momento da primeira descarga, o lodo apresentou 13,5 ovos viáveis/g MS e após os 28 dias do experimento o tratamento solarização com revolvimento, apresentou 0,34 ovos viáveis/g MS. Este valor ainda não atende as normas da EPA (1992), nem a Normativa proposta pelo Estado do Paraná que preconizam 0,25 ovos viáveis/g de MS (FERNANDES *et al.*, 1999), porém, é um valor muito próximo, mostrando com isso, que o tratamento se adequou ao objetivo proposto.

As temperaturas atingidas no lodo nos tratamentos com solarização mostraram-se superiores aos tratamentos que utilizaram estufa e à testemunha, ficando abaixo apenas dos tratamentos com estufa e biogás. A tabela 17 abaixo mostra as temperaturas máximas atingidas nas três descargas de lodo nos tratamentos com solarização.

TABELA 17 – TEMPERATURAS MÁXIMAS ATINGIDAS PELO LODO NOS TRATAMENTOS COM SOLARIZAÇÃO COM E SEM REVOLVIMENTO.

	Solarização com revolvimento	Solarização
1ª descarga	32,5	32,5
2ª descarga	30,7	27,83
3ª descarga	30,6	29,9

Os maiores valores atingidos pela massa de lodo deve-se ao fato de que a presença do filme plástico diretamente sobre o lodo, não permite a perda de água

através da evaporação e conserva o calor acumulado pelas horas de insolação e a água ao contrário do lodo, apresenta uma melhor transmissão de calor. A umidade dentro do leito propicia que a água aqueça mais rapidamente o lodo e conserve o calor, pois, é mais fácil esquentar a água do que aquecer uma substância mais porosa. Como exemplo disso, pode-se fazer uma comparação com os tratamentos com estufa que também utilizaram filme plástico, porém, com uma distância aproximada de 2 m da camada de lodo. Os resultados na massa de lodo foram praticamente os mesmos para os quatro tratamentos, chegando à 30 °C, porém, as temperaturas do ambiente foram diferentes, pois, nos tratamentos com estufa a temperatura chegou a 34°C e nos tratamentos com solarização a temperatura ambiente não ultrapassou 30°C, demonstrando que na solarização ocorre uma retenção maior do calor e nos tratamentos com estufa ocorre uma dissipação do calor pelo ar.

A terceira descarga também apresentou resultados favoráveis à solarização, chegando à 84,03% de redução no tratamento com revolvimento e 86,46% no tratamento sem revolvimento. O que pode ser observado nessa descarga, é que o número inicial de ovos viáveis foi praticamente quatro vezes superior ao da primeira descarga. Assim, em termos de redução percentual na viabilidade de ovos, também mostraram-se eficientes nessa descarga.

Como esperado, em relação ao efeito do revolvimento pode-se observar que ele foi indiferente, não apresentando ação sobre a inviabilização dos ovos pois, a média de redução ficou em 87,71% para solarização com revolvimento e 87,55% de redução de ovos viáveis para a solarização sem revolvimento. Esse fato pode ser explicado pela condição de igualdade adquirida pela massa de lodo da superfície até a camada mais profunda do perfil.

5.2.5 Estratificação de Ovos de Helminthos em Leitos de Secagem

A coleta do lodo quando é realizada apenas na camada superficial, pode apresentar uma super estimacão dos resultados, pois, essa camada tem a tendência de apresentar uma quantidade menor de patógenos, em decorrência da sedimentação dos ovos nos leitos. Por esta razão, as camadas de um mesmo perfil de lodo terão concentrações diferentes de ovos e como os ovos precipitados ficam protegidos pela camada de lodo, também apresentam maiores níveis de viabilidade.

Através de um estudo sobre sedimentação de ovos, KONIG (1999) mostrou que após 24 horas da descarga de lodo, os valores de ovos de helmintos já havia se diferenciado, mostrando uma ocorrência diferenciada da presença de ovos de helmintos nas diferentes camadas de um perfil de lodo demonstrando a tendência dos ovos à sedimentação.

A tabela 18 mostra resultados de um teste paralelo feito com torrões do lodo seco termicamente do experimento, mostrando uma forte tendência de acúmulo dos ovos com o aumento da profundidade de onde o lodo foi coletado. Na camada mais profunda do tratamento com estufa, foram encontrados 43,07% de ovos viáveis, enquanto no tratamento com estufa e biogás esse valor subiu para 84,02%, provavelmente porque no tratamento com estufa a temperatura se manteve mais ou menos homogênea nas três camadas não causando um grande diferencial de viabilidade quando comparado com o tratamento que utilizou biogás. Para os dois tratamentos a maior porcentagem de ovos viáveis ocorreu na camada profunda pela ocorrência da sedimentação dos ovos. Na estufa com biogás o gradiente de porcentagem de viabilidade das três camadas do perfil foi extremamente elevado, isso pode ser explicado pelas elevadas temperaturas proporcionadas pelo biogás na camada superior.

TABELA 18 – CONTAGEM E VIABILIDADE DE OVOS DE HELMINTOS NOS TRATAMENTOS COM ESTUFA SEM REVOLVIMENTO E ESTUFA COM BIOGÁS SEM REVOLVIMENTO NAS CAMADAS SUPERFICIAL, MÉDIA E PROFUNDA.

Amostra	Nº de ovos/g	% Viabilidade	Ovos viáveis/g de MS	% de ovos viáveis na camada de lodo
ESTUFA				
Camada superficial	19,25	85	16,37	18,08
Camada mediana	42,37	83,03	35,18	38,85
Camada profunda	46,00	84,34	39	43,07
ESTUFA C/ BIOGÁS				
Camada superficial	1,10	3,03	0,033	1,01
Camada mediana	7,33	6,75	0,49	14,97
Camada profunda	11,54	23,83	2,75	84,02

Os resultados da tabela acima demonstram claramente que a concentração de ovos de helmintos viáveis está distribuída de forma crescente à medida que se chega à camada mais inferior do lodo.

THOMAZ-SOCCOL (1999) já afirmou que para a análise quantitativa de microrganismos presentes no lodo de esgoto é de fundamental importância considerar, o modo de coleta e a conservação das amostras. Assim, as coletas do lodo nos leitos de secagem foram realizadas em todo o perfil da camada, sendo retiradas amostras compostas e posteriormente homogeneizadas. Esse método foi adotado visando uma redução de custo (menor número de análises) e obtenção do número médio de ovos em toda a massa de lodo.

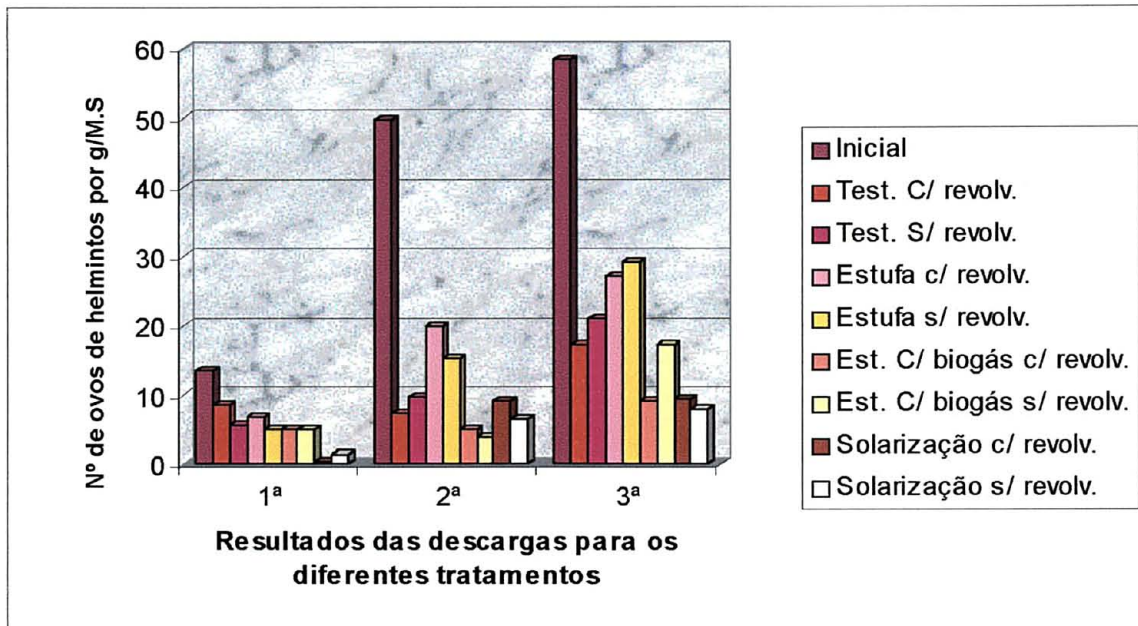
5.2.6 Avaliação Geral e Comparação dos Diferentes Tratamentos para Redução de Patógenos

Dentre todos os oito tratamentos utilizados no experimento, observa-se que há uma tendência para uma eficiência maior nos tratamentos solarização com e sem revolvimento. Assim, na primeira descarga foram os mais eficientes chegando à níveis bastante baixos, quase alcançando os níveis preconizados pelas normatizações vigentes, porém, na segunda descarga, a eficiência dos tratamentos que utilizaram biogás aliado à estufa plástica foram superiores aos demais. Isso pode ser explicado

pelas adaptações feitas no sistema de biogás para a essa descarga, que proporcionou maior eficiência ao processo, pois contava com as chamas acesas durante um período aproximado de 24 horas/dia, o que não aconteceu com a primeira e terceira descargas, onde ficava ligado por um período aproximado de 10 horas/dia. Com isso, na terceira descarga os tratamentos com solarização tiveram eficiência superior aos demais, com proximidade apenas do tratamento 4, que utilizou estufa e biogás com revolvimento.

A figura 20 mostra os resultados para ovos de helmintos para todos os oito tratamentos, considerando as três descargas de lodo realizadas.

FIGURA 20 - NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS/G/MS NO LODO SUBMETIDO AOS DIFERENTES TRATAMENTOS.



Relacionando esses dados de redução e fazendo um comparativo com valores em porcentagem, na primeira descarga os tratamentos com solarização tiveram um índice de redução de 97,48 e 89,33%; a segunda descarga apresentou os tratamentos com estufa e biogás com um índice de 89,94 e 91,99% e a terceira descarga apresentou os tratamentos estufa com biogás com revolvimento e solarização com e sem revolvimento com índices de 84,51, 84,03 e 86,46%, respectivamente.

Em relação à ação do revolvimento nos tratamentos adotados quando comparados aos tratamentos que não utilizaram o processo, pode-se verificar que teve ação negativa no tratamento com estufa, provavelmente por expor as camadas mais úmidas à uma temperatura ótima de desenvolvimento do ovo; o tratamento testemunha teve uma leve redução de eficiência com o processo, pela mesma explicação ao tratamento com estufa; o tratamento com estufa e biogás apresentou o melhor desempenho de todos os tratamentos, pois, expunha o lodo à uma temperatura maior proporcionada pela superfície e a solarização, como esperado, não apresentou resultados, pois, o processo proporcionou uma condição de igualdade em todo perfil do lodo.

Portanto, apesar dos valores ainda estarem acima dos valores da EPA e da própria Instrução Normativa Paranaense sobre higienização do lodo para a reciclagem de lodo de esgoto, o experimento mostrou uma grande redução, tendo em vista as condições adotadas em campo, podendo ser utilizados em áreas de reflorestamento ou para recuperação de áreas degradadas. Para ser utilizado na agricultura esse lodo deverá ser complementado com uma dosagem de cal virgem, porém, os níveis a serem adicionados serão bem menores que os normalmente colocados.

5.3 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA UMIDADE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS

Buscando uma solução para os problemas da alta taxa de umidade do lodo, o experimento avaliou alternativas com a finalidade de diminuir o tempo de secagem do material no leito, reduzindo dessa maneira, o número de leitos a serem construídos dentro da estação de tratamento. Este processo também apresenta a vantagem de diminuir a quantidade do lodo, pois, a tecnologia de secagem térmica dispensa as grandes quantidades de cal utilizadas atualmente a higienização, reduzindo assim, os custos no transporte.

Como o sistema de secagem natural, utilizado nesse experimento é influenciado por dois processos físicos diferentes que são a evaporação e a drenagem, e como estas operações são extremamente afetadas pelo clima e pela estação do ano, podendo a secagem levar de algumas semanas a alguns meses, pode-se controlar o processo no sentido da maximização da velocidade de secagem através de práticas como cobertura do leito, injeção de calor no sistema, elevação da temperatura e renovação do ar (úmido por seco), movimentação do ar e exposição da superfície mais úmida (fundo) através do revolvimento.

As coletas de lodo para a análise da umidade foram realizadas através de amostragens que incluíram todo perfil do lodo, sendo posteriormente homogeneizadas. Mesmo com esse procedimento, os resultados foram muito distintos em decorrência do comportamento que variava muito dentro do leito de secagem.

Os resultados da tabela 19 mostram os valores iniciais, finais e a porcentagem de incremento na concentração de sólidos nos oito tratamentos estudados, comparando as três descargas de lodo.

TABELA 19 – TEORES INICIAS E FINAIS DE SÓLIDOS NOS OITO TRATAMENTOS ESTUDADOS CONSIDERANDO AS TRÊS DESCARGAS REALIZADAS E O PERCENTUAL DE INCREMENTO EM CADA TRATAMENTO.

	Test. c/ revolv.	Test. s/ revolv.	Est. c/ revolv.	Est. s/ revolv.	Est. c/ biogás c/ revolv.	Est. c/ biogás s/ revolv.	Solar. c/ revolv.	Solar. s/ revolv.
1ª descarga								
Inicial	10,13	10,20	8,82	6,62	9,85	12,04	16,18	17,85
Final	73,77	63,02	74,57	81,17	80,44	52,12	31,48	44,18
Incremento (%)	63,64	52,82	65,75	74,55	70,59	50,08	15,3	26,33
2ª descarga								
Inicial	4,13	3,7	0,08	0,06	0,02	0,12	3,25	1,19
Final	38,57	40,45	60,35	54,31	79,9	84,44	25,65	22,54
Incremento (%)	34,44	36,75	60,27	54,35	79,88	84,32	22,4	21,35
3ª descarga								
Inicial	8,7	3,6	0,9	0,1	8,0	1,1	5,1	0,1
Final	36,6	32,4	39,8	54,3	68,3	59,4	30,1	24,2
Incremento (%)	27,9	28,8	38,9	54,2	60,3	58,3	25	24,1
Média de redução (%)	41,99	39,46	54,97	61,03	70,26	64,23	20,9	23,93

As discussões abaixo demonstram os resultados obtidos para os oito tratamentos, mostrando separadamente a influência de cada um no processo de secagem.

5.3.1 Testemunha

Os tratamentos testemunha são fortemente influenciados pelos fatores ambientais, pois, ficam à céu aberto, apresentando em relação à média, uma consistência ainda muito pastosa para o lodo, quando comparado aos tratamentos com estufa e biogás.

A primeira descarga, ao contrário das outras, apresentou um bom incremento de sólidos, devido às condições ambientais favoráveis proporcionadas pelo período de avaliação, que apresentou um índice pluviométrico de 46,6 mm e insolação acumulada de 165 h e baixas precipitações atmosféricas em leitos sem cobertura proporcionam melhores condições de evaporação. Para a segunda e terceira descarga, o incremento foi decrescente devido ao aumento das chuvas e diminuição da insolação, conforme já exposto no item 5.1.

Mesmo com um baixo teor de sólidos na terceira descarga que foi a mais desfavorável, os tratamentos testemunha apresentaram-se melhores do que no citado por LIMA *et al.* (1998), que alcançou, para um ciclo de 35 dias um máximo de 27,4% de sólidos e o experimento alcançou 27,9 e 28,8% para um período de 28 dias. Na média geral, o estudo alcançou um valor final de 41,99 e 39,46% de sólidos para o tratamento com e sem revolvimento, respectivamente. Já ALÉM SOBRINHO e MIRANDA (1996), obtiveram 20% no teor de sólidos, após 16 dias de secagem e 30% para 30 dias, sendo também inferiores aos obtidos pelo experimento que atingiu aos 16 dias um teor aproximado de 28,66% e 30,7% para a primeira descarga e ao final do experimento os resultados mostraram-se bem superiores aos citados pelos autores. MENDONÇA e CAMPOS (2000) verificaram um teor de sólidos de 29 à 35% em leitos convencionais, tendo como avaliação um período de 30 dias.

O tratamento testemunha que utilizou o processo de revolvimento, tinha como função principal atingir ao final do processo um teor de umidade menor que os tratamentos sem revolvimento, pois, o processo propiciava a exposição das massas de lodo mais úmidas para a superfície, para que as mesmas entrassem em contato com o calor proporcionado pela exposição ao sol, pelo efeito estufa, pela solarização e pelo biogás.

O revolvimento apresentou uma tendência de melhor desempenho na 1ª descarga: cerca de 10% a mais no incremento de sólidos, sendo 63,64% para o leito com revolvimento e 52,82% para lodo não revolvido. Nas descargas subsequentes os tratamentos com revolvimento, ao contrário, tiveram resultados inferiores (34,4 e 36,75% para segunda descarga e 27,9 e 28,8% para terceira descarga, considerando lodo revolvido e não revolvido, respectivamente), uma vez que as precipitações foram maiores (46,6 mm – 1ª descarga, 109,6 mm – 2ª descarga e 206,1 mm para 3ª descarga). A eficiência do revolvimento está associada à períodos de baixa precipitação. Em períodos de maior precipitação, os leitos sem revolvimento se mostram superiores, uma vez que apresentam um fendilhamento que permitem a percolação rápida da água da chuva, impedindo assim a rehidratação do lodo. Nos tratamentos com revolvimento, a percolação e infiltração, ao contrário, são lentas e o contato da água com as partículas de lodo maior, facilitando a reidratação, quando o lodo ainda não atingiu seu ponto de desidratação irreversível.

A figura 21 mostra o lodo dentro do leito de secagem, indicando os tratamentos testemunha com e sem revolvimento, respectivamente.

FIGURA 21 – LEITO DE SECAGEM MOSTRANDO O LODO REVOLVIDO E NÃO REVOLVIDO



A figura acima detalha o fendilhamento ocorrido no leito sem revolvimento. De acordo com HESS (1973) e IMHOFF (1976) essas fendas numerosas e de largura mediana indicam um lodo digerido com elevado teor de água.

5.3.2 Estufa Plástica

Os tratamentos com utilização de estufa apresentaram bons índices de incremento de sólidos para as três descargas, sendo o terceiro e quarto melhores resultados médios dos tratamentos testados, ficando abaixo apenas dos tratamentos que aliaram biogás.

O incremento de sólidos na primeira descarga com revolvimento, foi de 65,75%, na segunda foi de 60,27% e na terceira cai para 38,9%. Esse decréscimo é justificado pelo aumento da precipitação, que não apresenta influência direta, pois o leito é coberto mas em consequência há uma diminuição no período de insolação

como já mostrado no item 5.1. A mesma linha de resultado é apresentada pelos tratamentos sem revolvimento.

Verificou-se que a estufa em período seco tem um desempenho semelhante ao leito convencional, porém, apresenta grandes diferenças quando a precipitação pluviométrica aumenta, conforme visto na tabela 12.

Os dados obtidos em experimento utilizando leito coberto sem revolvimento mostraram-se superiores aos citados por LIMA *et al.* (1998) que alcançaram após 20 dias de experimento em fase laboratorial um teor máximo de sólidos de 22% e em 35 dias 33,1%, inferiores aos conseguidos no experimento que alcançaram em 20 dias 43,2% e ao final do experimento, ou seja, sete dias a menos que o da literatura um teor de sólidos de 61,03%.

A figura 22 abaixo mostra o aspecto do lodo ao final do tratamento em leito de secagem com estufa plástica.

FIGURA 22 – PERFIL DE LODO DOS TRATAMENTOS COM ESTUFA MOSTRANDO O ASPECTO DO LODO REVOLVIDO E NÃO REVOLVIDO.



A figura à esquerda mostra o lodo seco em leito de secagem utilizando estufa com revolvimento e à direita o mesmo tratamento, porém sem revolvimento. É possível observar na segunda figura que a parte inferior do perfil apresenta uma coloração mais escura, significando que o teor de umidade nessa região é maior, pois a exposição ao calor é menor.

Era esperado que o tratamento com revolvimento apresentasse uma eficiência diferenciada no processo de secagem devido ao revolvimento, onde o mesmo expõe as camadas mais profundas, portanto mais úmidas, à superfície, o que não foi verificado.

Os leitos de secagem com estufa mostraram-se eficientes à secagem, atingindo no final do experimento teores de sólidos maiores que 50%, desejável ao processo da reciclagem.

5.3.3 Estufa Plástica com Biogás

Em geral, os tratamentos com estufa e biogás, com e sem revolvimento, foram os que demonstraram melhores resultados no processo de secagem e incremento de sólidos no lodo de esgoto.

A utilização do biogás apresentou um diferencial na secagem quando comparado com os tratamentos que só utilizaram estufa plástica.

Aparentemente isso também pode ser verificado na figura 23 abaixo:

FIGURA 23 – PERFIL MOSTRANDO O ASPECTO DO LODO NOS TRATAMENTOS ESTUFA COM BIOGÁS COM E SEM REVOLVIMENTO RESPECTIVAMENTE E ESTUFA SEM REVOLVIMENTO.



A figura mostra à esquerda o lodo revolvido da estufa com biogás, ao centro o tratamento sem revolvimento e à direita o tratamento que não possuía nem revolvimento nem biogás, ficando evidente a diferença na quantidade de redução de umidade que cada tratamento proporciona. O perfil à direita mostra ainda uma camada

mais inferior escura demonstrando que ainda possui bastante umidade, já no perfil de lodo cujo tratamento utilizou biogás a camada é bem menor.

Os resultados da primeira descarga apresentaram um desempenho igual ou até inferior aos tratamentos que utilizaram apenas estufa plástica, pois no mês do experimento as chamas permaneceram ligadas aproximadamente 10 horas/dia, sendo desligadas no período da noite. O tratamento com estufa e biogás sem revolvimento deveria apresentar no mínimo, os mesmo valores que o tratamento que utilizou apenas estufa sem revolvimento, indicando nesse caso, que pode ter havido problemas na coleta das amostras. Já a segunda descarga, após adaptações realizadas nas tubulações, o período de queima de biogás foi de aproximadamente 24 horas/dia, o que proporcionou um melhor aquecimento dentro da estufa e melhores resultados, chegando à 84,32% de incremento de sólidos. Na terceira descarga, os resultados foram superiores aos demais tratamentos do mesmo período de avaliação obtendo 60,3% de incremento no tratamento com revolvimento, ficando abaixo dos resultados obtidos com a segunda descarga. Isso pode ser explicado pelas novas adaptações, principalmente relacionadas à bitola dos canos externos, que não proporcionaram uma distribuição homogênea do gás, permitindo que as chamas apagassem nos períodos em que a produção e vazão do biogás eram menores.

O biogás produzido pela estação de tratamento foi avaliado através de métodos estequiométricos chegando à um valor de 21,3 m³/dia. Para MENDONÇA (1996), estudos teóricos demonstraram que a queima do biogás produzido em reatores UASB é suficiente para aquecer o lodo gerado nesses reatores à uma temperatura mínima de 50°C. O experimento mostrou que a quantidade de gás em sistema normal de produção é suficiente para ser utilizado num processo de aquecimento de lodo, porém, existem ainda dificuldades em manter acesa as chamas e manter uma constância na produção do gás, pois o mesmo não apresenta sistema de armazenamento dentro da estação.

Ao final dos 28 dias de avaliação o lodo ficou com um aspecto “torrado”, principalmente o lodo que estava mais próximo às chamas, como mostram as figura 24 e 25, com e sem revolvimento respectivamente:

FIGURA 24 – ASPECTO “TORRADO” DO LODO APÓS SOFRER O PROCESSO DE SECAGEM TÉRMICA ATRAVÉS DE ESTUFA E BIOGÁS.



FIGURA 25 – DETALHE MOSTRANDO O ASPECTO DO LODO NO TRATAMENTO COM ESTUFA E QUEIMA DE BIOGÁS, PRINCIPALMENTE MAIS PRÓXIMO AOS BICOS QUEIMADORES.



Os resultados das três descargas foram bastante satisfatórios para o objetivo proposto, porém, na primeira descarga os demais tratamentos (com exceção dos tratamentos que utilizaram solarização) também mostraram um bom desempenho no incremento de sólidos, devido às excelentes condições ambientais no período de avaliação, que teve um índice baixo de pluviometria e um acúmulo elevado de horas de insolação.

Como pode ser observado na tabela 19, os resultados da segunda descarga para os tratamentos com estufa e biogás mostraram-se mais eficientes, que ocorreu provavelmente devido as condições de precipitação e insolação do período correspondente, além das ótimas condições nos aspectos técnicos e operacionais do sistema de biogás, pois, foi a descarga onde o aparato experimental estava operando com o máximo de sua eficiência, demonstrando o incremento de sólidos que a queima do biogás gerado nos reatores anaeróbios pode proporcionar na desidratação do lodo, reduzindo o tempo de secagem e seu volume.

A terceira descarga apresentou bons resultados de desidratação, porém, inferiores à segunda descarga, provavelmente por apresentar um período com menor insolação e mudanças na tubulação do sistema de biogás, deixando o aparato experimental menos ajustado. Isso fez com que as chamas ficassem acesas por um período aproximado de 10 h./dia, diminuindo a eficiência da secagem.

5.3.4 Solarização

Pelos resultados expostos na tabela 19, pode-se verificar claramente que os tratamentos que utilizaram o processo da solarização com e sem revolvimento foram os menos eficientes no processo de secagem do lodo, alcançando apenas 20,9 e 23,93% de sólidos, na média geral das descargas. O filme plástico colocado diretamente sobre a camada de lodo no leito dificultou a saída do vapor d'água para a atmosfera, determinando o baixo desempenho.

O incremento de sólidos no lodo nesse processo foi extremamente pequeno, apresentando valores médios de sólidos de 20,9 e 23,93% com e sem revolvimento, portanto, abaixo dos tratamentos testemunha que foram de 41,99 e 39,46% e que são utilizados hoje em praticamente todas as estações de tratamento que tratam o esgoto através de reatores anaeróbios.

O lodo apresentou uma quantidade muito grande de água, dificultando até mesmo o processo de coleta e provocando fortes odores, principalmente nos dias mais quentes. A figura 26 abaixo mostra o aspecto do lodo, logo após a retirada do plástico.

FIGURA 26 – ASPECTO DO LODO NO TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO COM REVOLVIMENTO, MOSTRANDO A QUANTIDADE DE ÁGUA ACUMULADA.



O processo do revolvimento apresentou-se como o esperado, não auxiliando na secagem do lodo, pois, a solarização proporciona uma distribuição mais homogênea da água no perfil do lodo, não permitindo a evaporação, que é o processo mais importante para a secagem depois que cessa o período mais intenso da percolação.

Assim, como resposta ao processo de secagem a solarização se mostrou inviável, pois, com esses resultados a tendência é aumentar o número de dias de permanência do lodo dentro dos leitos, fazendo com que haja um aumento no número de leitos de secagem, aumentando os custos operacionais.

5.3.5 Avaliação Geral e Comparação dos Diferentes Tratamentos para Redução de Umidade

A perda de umidade, determinou naturalmente uma diminuição na altura da camada de lodo em todos os tratamentos, que iniciaram com alturas variando de 30 à 36 cm de lodo líquido. Nos primeiros dias da secagem, ocorreu uma substancial redução da altura do lodo, trazendo como consequência, a grande redução do volume em todos os tratamentos. Após 96 horas de avaliação, praticamente todos os tratamentos, nas três descargas, obtiveram a mesma porcentagem de sólidos, com valores variando de 17,09 à 19,31% para a 1ª descarga, 19,44 à 24,29% para a 2ª descarga e 18,10 à 23,3% para a 3ª descarga, ou seja, perderam praticamente a mesma quantidade de água. Essa situação decorreu fundamentalmente, pela perda da água através da percolação, pois, o lodo nessas condições, flota devido à diferença do peso específico aparente do lodo digerido e o da água. Dessa forma, a água abaixo da camada flotante, percola com facilidade no leito filtrante, pois de acordo com MENDONÇA (1996) o mesmo apresenta uma malha de drenagem na parte inferior do sistema, que permite a retirada do líquido, até que o lodo se deposite no fundo do leito. A partir desse momento, a perda de umidade ocorre, fundamentalmente, através da evaporação natural da água.

Na primeira descarga, com exceção dos tratamentos com solarização, todos os outros tratamentos mostraram-se com bons resultados, ficando a estufa sem revolvimento com um incremento de sólidos superior de 74,55%, seguido da estufa com biogás e revolvimento (70,59%); estufa com revolvimento (65,75%); testemunha revolvida com 63,64%; estufa e biogás sem revolvimento com 50,08% e finalmente a solarização com 26,33 e 15,3% para leito sem e com revolvimento, respectivamente.

Na segunda descarga, os resultados apontaram para uma maior eficiência os tratamentos com biogás, chegando à um incremento de sólidos de 79,88 e 84,32% para leito com e sem revolvimento. Esse foi o período de avaliação em que o aparato experimental apresentou a maior eficiência na instalação do biogás, funcionando foi um período aproximado de 24 h/dia. A partir desse período as chuvas ficaram mais frequentes e intensas, fazendo com que os tratamentos à céu aberto tivessem uma eficiência no incremento de sólidos muito pequena. A insolação no período também foi menor, chegando a 133,7 horas.

O período correspondente à terceira descarga foi o que apresentou o maior índice pluviométrico e a menor insolação, sendo 206,1 mm e 104,4 horas, respectivamente. Com esses dados ambientais pode-se explicar a eficiência dos tratamentos com biogás e também do tratamento que utilizou somente estufa e a ineficiência da testemunha com e sem revolvimento que apresentaram um incremento de sólidos de 27,9 e 28,8%, justamente pelas péssimas condições ambientais adversas verificadas nesse período, ficando muito próximos ao desempenho dos leitos com solarização que tiveram um incremento de 25,00 e 24,10% de sólidos.

Relacionando os dados de precipitação e insolação com a eficiência dos tratamentos utilizando estufa, biogás, leito normal e solarização, conclui-se que os fatores ambientais são fundamentais para o desempenho dos leitos e que a insolação é importante para os tratamentos que utilizam estufa, mostrando ainda o incremento no teor de sólidos proporcionado pelo biogás.

Verifica-se que a estufa apresenta um desempenho semelhante à testemunha em condições de baixa precipitação, mas quando a precipitação se intensifica este tratamento apresenta resultados bastante superiores nos teores de sólidos. Em média tem-se, em períodos de muita chuva como ocorrido na terceira descarga um incremento de sólidos de 54,97 e 61,03% para estufa e 41,99 e 39,46% para as testemunhas com e sem revolvimento, portanto, para regiões onde o clima é frio ou em altas precipitações a utilização da estufa é recomendada para secagem do lodo.

Um aspecto importante do experimento é que a utilização do biogás no processo da secagem proporcionou uma minimização dos impactos ambientais ocasionados pela descarga gasosa na atmosfera, acelerando o processo de secagem e, diminuindo o tamanho e o custo das instalações necessárias para a desidratação do lodo.

6 CONCLUSÕES

De acordo com as condições monitoradas no experimento, pode-se fazer as seguintes conclusões:

Os tratamentos com biogás apresentaram um melhor desempenho para a inviabilização de ovos de helmintos quando seu sistema de instalação estava em condições ideais de funcionamento;

A solarização apresentou ótimos resultados para higienização sendo totalmente ineficiente para a secagem;

Os ovos de helmintos apresentam uma sedimentação natural no fundo do leito, fazendo com que a amostragem torne-se subestimada em relação ao nível real de ovos de helmintos;

Em relação à secagem, o tratamento utilizando estufa e biogás foi o mais eficiente dos tratamentos testados;

O tratamento utilizando leito de secagem com estufa mostrou-se eficiente para a secagem, porém, apenas em períodos chuvosos;

O revolvimento apresentou ação negativa para tratamentos com estufa, tendo uma leve redução nos tratamentos testemunha, um melhor desempenho na estufa com biogás e indiferente para solarização;

Em termos gerais, o processo de revolvimento não se mostrou eficiente e tecnicamente viável para os tratamentos testados, e para leitos convencionais (testemunha) em dias de chuva, o revolvimento torna-se totalmente inadequado;

O biogás produzido no reator e canalizado para a estufa, proporcionou um maior incremento de sólidos e inviabilização de ovos de helmintos, quando comparado com os demais tratamentos.

7 RECOMENDAÇÕES

A metodologia de coleta de lodo em escala real (leitos de secagem) deve ser revista para que as amostragens realizadas apresentem um gradiente decrescente na viabilidade de ovos e teor de sólidos;

A coleta para análise de ovos de helmintos deve ser estratificada, devido à sedimentação dos ovos no fundo do leito de secagem;

A coleta para análise do teor de sólidos do lodo também deve ser estratificada, pois a camada superior e inferior, apresentam um gradiente de umidade diferente, sendo as camadas mais profundas sempre mais úmidas;

Selecionar os tratamentos que apresentaram melhor desempenho para um novo teste com repetição, fazendo suas respectivas modificações considerando as deficiências apresentadas;

Um sistema de injeção de calor abaixo do leito de secagem poderia obter melhores resultados para higienização quanto para secagem, pois as perdas de calor seriam menores que a injeção sobre a superfície;

Para melhor desempenho do processo de solarização seria necessário aliar um estudo que alterne fases de solarização com secagem ao ar livre.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. M. de. Quadro Epidemiológico atual das doenças de veiculação hídrica no Estado do Espírito Santo. Anais: I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória/ES. 2000. p.10.
- AYRES, R. e MARA, D. **Analysis of wastewater of use in agriculture**. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques : WHO, Geneva, 1996.
- AISSE, M.M.; ANDREOLI, F.N. de. Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem e de centrífuga tipo decanter. *Sanare*, v.11 n.11, 1999 (p37-43).
- AISSE, M. M.; FERNADES, F.N de; SILVA, S. M. C. P. da. Aspectos tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. de; FERNANDES, F. (Org.) **Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, p.49-119.
- AISSE, M.M.; AMARAL, C.; SOVIERSOSKI, A. **Estudo da desidratação do lodo anaeróbio obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem**. Relatório impresso, ISAM: Curitiba, 1998. 8p.
- ALÉM SOBRINHO, P. e MIRANDA, S. E. M. Desidratação de Lodos de Reator UASB em Leito de Secagem – Determinação de Parâmetros. In: XXV Congresso AIDIS, México, 1996.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soil**. New York : J. Wiley & Sons, 1993.
- ALMEIDA, J.R.G.; BEOZZO, J.R.C.; MECA, L.A.A. Gases do esgoto, controle de odores, parâmetros brasileiros e engenharia de segurança: ETE São Miguel. *Saneas*, São Paulo, n. 9, p. 70-78, 1996.
- ANDREOLI, C. V. et al. Tratamento e disposição do lodo de esgoto no Paraná. *Sanare*, Curitiba, v.1, n.1, p. 10-15, 1994.
- _____. et al. A reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUO DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA. (1997 : Curitiba). *Anais*. Curitiba : [s.n.], 1997.
- _____. PEGORINI, E.S. Gestão de Biossólidos : Situação e Perspectivas. In: I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul. *Anais*. Curitiba/PR. 1998.
- _____. PEGORINI, E.S. Gestão Pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. BETTIOL, W e CAMARGO, O. A. (orgs). Campinas, SP, 2000a p. 281-312.
- _____. PEGORINI, E.S.; GONÇALVES, D.F. Processo de implementação da Reciclagem Agrícola de Biossólidos em Curitiba – Paraná. In: XXVII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. CD Room. Porto Alegre/POA. 2000b.
- ASCE; AWWA; U.S. EPA. Technology transfer handbook: management water treatment plant residual. Publicado por American Socities of Cívil Engineeets e American Water Work Association. 1996.

AZEVEDO NETTO, J. M. Aproveitamento do Gás de Esgotos, Revista DAE, 19ª ed., American Public Health Association, Washington, D. C., Estados Unidos, 1961.

BABICH, H.; STOTSKY, G. Sensitivity of various bacteria, including actinomycetes, and fungi to cadmium and influence of pH on sensitivity. **Appl. Environ. Microbiol.**, Washington, v.3, p. 68-688, 1979.

BERGS, C.G.; LINDNER, K.H. Sewage sludge use in the Federal Republic of Germany. Tomado de **European water pollution control** . Vol.7, number 2, Germany, 1997.

BIDONE, F.R. Alternativas de disposição final de biossólidos: aterros, landfarming e incineração. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba : SANEPAR, 1998. p.131-135.

BONNET, B.R.P. **Diagnóstico de situação e proposição de sistema de monitoramento dos impactos ambientais causados pela reciclagem agrícola do lodo de esgotos**. Curitiba, Monografia (especialização em Análise Ambiental) Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 1995. 153p.

BRANCO, S. M. Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 3ª ed. São Paulo : CETESB. 1986. p.616.

BRASIL - SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. **Plano de ação imediata de saneamento**. Brasília : SNS, 1991.

BROWN, L. **Qualidade de vida – Salve o planeta**. São Paulo : Ed. Globo, 1991. 323 p.

CABES – Guia de Saneamento Ambiental no Brasil, 1993/1996, 18ª Ed. Coord.: Associação Brasileira de Engenharia sanitária e Ambiental.

CANZIANI, J. R. et al. 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 Agrônômicos para Reciclagem Agrícola do Lodo. 15 p. Curitiba/PR, 1996.

CARRINGTON, E.G. The fate of pathogenic microorganisms during waste-water treatment and disposal. London : water research center, 1980 (Technical Report, n.58 e 121).

CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo, v.3,n.2.1981.p.3-5.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Emissões de metano gerado no tratamento e disposição de resíduos no Brasil. Disponível na Internet (http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/residuos.htm) – 04/08/2000.

_____. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. – São Paulo, CETESB, Série de Relatórios/Secretaria do Meio Ambiente, 270 p., 1995.

CHERUBINI, C.; FERREIRA, A.C.; TELES, C.R.; ANDREOLI, C.V. **Avaliação de Parâmetros para Desinfecção e Secagem do lodo de Esgoto através da temperatura**. In: I Seminário nacional de Microbiologia aplicada ao saneamento. **Anais...** Vitória/ES. 2000.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em Reciclagem agrícola de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P (ORGS) Sanepar : Prosab, 2ª ed., 2000, 86p.

_____. Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná. Curitiba, 1997a.

_____. **Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto** - Estudo preliminar para a definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. & DOMASZAK, S.C. (Coords.).SANEPAR, Curitiba. 1997b. 84p.

CRAVEIRO, A.M. Produção de Biogás. IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo, 1982.

DEUS, A.B.S. de Avaliação Sanitária e Ambiental de Lodos de ETES. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1993.

DHAYS, B.D. Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludge. *Water, res.*, Onon, v.11, p.583-595, 1977.

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos. Lodo Digerido : características físicas, químicas e biológicas e alternativas de secagem. Porto Alegre : DMAE, 1983. 39p

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE OF CANADA – EPS Environmental Canada. Manual for land application of treated municipal wastewater and sludge. Ontário: EPS, 1984. 216p. (6-EP-84-1).

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under. Washington, DC, 1992. (EPA, n.40, CFR part 503).

_____. Federal registrar, standards for use on disposal of sewage sludge : final rules. Washington, DC, 1993 (EPA, n.40; CFR part 257).

_____. Guide to the biosolids risk assessments for the part 503 rule. Washington, DC, 1995 (EPA, n.832-b-93-005).

_____. Health effects of land application of municipal sludge. Washington, DC, 1985 (EPA, n.1-85/015).

_____. Land application of biosolids. Washington, DC, 1984.

_____. A plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule. Washington, DC, 1994.

_____. Preliminary risk assessment for bacteria in municipal sewage sludge applied to land. Washington, DC, 1991 (EPA, n.600/6-91/006).

_____. The waste system. Washington, DC, 1989.

_____. Food and drug administration. Bacteriological analytical manual. 7.ed. Cincinnatti : AOAC, 1992.

_____. Land application of biosolids : process design manual. Cincinnatti, 1997.

_____. Sludge treatment and disposal. Cincinnatti, 1979.

_____. Biosolids generation, use, and disposal in The United States, 1999 (EPA 530-R-99-009)

FERNANDES, F.; LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. **Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto in Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções.** Curitiba : SANEPAR, FINEP, 1999.

FERNANDES, F. **Levantamento das produções e plano básico para a gestão o lodo de esgoto gerado pela Sanepar.** Curitiba : SANEPAR, 1998. (Relatório Técnico)

FERNANDES, F. ; PIERRO, A. C. ; YAMAMOTO, R. Y. Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 567–574, 1993.

FERREIRA, A. C., et al. Production of sewage sludge in the state of Paraná – Brazil. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON DISPOSAL AND UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE (1999 : Atenas). **Annals.** Atenas : IAWQ, 1.999b.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; JURGENSEN, D. Destino final do lodo. In.: USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA. Coord. Cleverson V. Andreoli; Aderlene I. de Lara; Ricardo G. K. Ilhenfeld. Rio de Janeiro, RJ, 1999a. Editora ABES. 97p.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; JURGENSEN, D. Produção e características dos biossólidos. In.: USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA. Coord. Cleverson V. Andreoli; Aderlene I. de Lara; Ricardo G. K. Ilhenfeld. Rio de Janeiro, RJ, 1999d. Editora ABES. 97p.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I de. Riscos associados ao uso de lodo de esgoto. In.: USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA. Coord. Cleverson V. Andreoli; Aderlene I. de Lara; Ricardo G. K. Ilhenfeld. Rio de Janeiro, RJ, 1999c. Editora ABES. 97p.

FILHO, P.M. Reciclagem da matéria orgânica através da vermicompostagem. IN.: Metodologia e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos. Org.: Francisco R. A. Ed. ABES, 1999. Rio de Janeiro/RJ. p. 31.

GALVÁN, M. de ; VICTORICA, J. Implicaciones sanitarias de la presencia de huevos viables de nemátodos en el agua para riego y necesidad de su evaluación rápida. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL(26. : 1998 : Lima). **Anais.** Lima : [s.n.], 1998.

GAMBALE, W.; PAULA, C.R.; CORRETA, B. et all. Avaliação da microbiota fungica em lodo digerido submetido a tratamento químico e térmico. *Revista Microbiologia*, São Paulo : v.18, t.4, p.363-365, 1987.

GASI, T. M. T. Remoção de Microrganismos em Reatores Anaeróbios Ascendente emanta de Lodo Operado com Esgoto Doméstico (Diss. Mestrado) Faculdade de Saúde Pública – USP, 1990, 206 p.

GHINI, R. Desinfestação do solo com o uso de energia solar: solarização e coletor solar. Jaguariúna: EMBRAPA – CNPMA, 1997. 29p. (EMBRAPA – CNPMA. Circular Técnica, 1).

_____. BETTIOL, W. Avaliações de temperatura no solo e lodo através da energia solar. (Comunicação pessoal) 2000.

_____. BETTIOL, W. ; SOUZA, N.L. de. Solarização do solo para o controle de *Verticillium dahliae* em berinjela. **Fitopatologia Brasileira**, v.17, n.4, p.384-388, 1992.

GONÇALVES, R.F.; LUDOVICE, M. Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. BETTIOL, W e CAMARGO, O. A. (orgs). Campinas, SP : EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.p. 25-44.

HAYS, B.D. Review paper : potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludges. Water Research, great Britain; v.1, 1977, p.583-595.

HESS, M.L. **Lagoas de estabilização** - Cap. 6 : Lagoas anaeróbias. 2ª ed. Ed. CETESB, São Paulo, 1973.

HEALTH and HELFARE CANADA. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Supporting Documentation, Ottawa, 1980.

HUANG, J.Y.C. Sewagw dispossal. In.: *Microsoft Encarta 1995*. USA: Funk e Wagnalis, 1995 (CD Rom).

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná. **Cartas Climáticas Básicas do estado do Paraná**. Londrina/PR, 41 p. 1978.

IAWQ. Specialized conference and Disposal and Utilization of Sewage Sludge: Treatment Methods and Application Modalities: Program, 1999. 18p. Disponível na Internet. <http://www.hydro.civil.ntua.gr/labs/sanitary/conter.htm>. 10/10/1999.

IDE, C.N. Eficiência da estabilização de lodos de ETEs com cal e ferrato (IV) de potássio. Porto Alegre – RS, 1994. Tese de Doutorado – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ILHENFELD, R.G.K.; PEGORINI, E.S.; ANDREOLI, C.V. Fatores limitantes. In : Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro : PROSAB, FINEP, 1999.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K.R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo : E. Blücher, 1976.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change : The acuinnd of climate change – Sewary for policymakersk, effice graphics studio, Madrid, p.57, 1995.

JACKSON.; BERTINE, K.K.; BROOKS, N.H. et al. Report of the painel on marine sciences. In: WOKSHOP ON LAND, SEA AND AIR OPTIONS FOR THE DISPOSAL OF INDUSTRIAL AND DOMESTIC WASTWS, 1984, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC : National Academy Press, 1984.

JORDÃO, E. P. e PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 3ª ed. ABES, 681p., Rio de Janeiro/RJ, 1995.

KASATIKOV, V.A. Effect of municipal sewage sludge ar soil microiement composition. **Scripta Technica**. P. 11-20, 1992.

KATAN, J.; DeVAY, J.E. Soil Solarization: historical perspecives, principles and uses. In: Soil Solarization, KATAN, J.; DeVAY, J.E. (eds), Boca Raton, Press. Inc., P.23-37. 1991.

_____. GREENBERGER, A.; ALON, H.; GRINSTEIN, A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. **Phytopathology**, v.66, p.683-688, 1976.

KÖNIG, A., et al. Helminthos em lodos brutos e digeridos de uma ETE convencional. In.: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Rio de Janeiro/RJ. 1999.

KRAUSS, G. D. ; PAGE, A. L. Wastewater, sludge and food crops. **BioCycle**, Emmaus, v. 38, n. 2, p.74-82, Feb. 1997.

LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E. Soil processes and green house effect. USDA In.: **National soil survey service**. Lincoln: National Soil Survey Center, 1994.

LARA, A.I; ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. Impactos ambientais e monitoramento da R. A. de lodo de esgoto. Avaliação de Impactos , Rio de Janeiro, V.1, n.3, p.84-95, 1997.

LIMA, M. R. P; MÜLLER, P.S.G; GONÇALVES, R. F **Desidratação de Lodo de Lagoas Anaeróbias de Estabilização em Leitos de Secagem na Região Sudeste do Brasil**. XXVI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental, Lima-Perú, 1998.

LUE-HING, C.; KENZ, D.R.; KUCHENRITHER, R. **Municipal sewage sludge management: processing, utilization and disposal**. S.1. : Technomic Publishing, v.4, 663p. 1992.

MARTINS, M.T.; SANCHEZ, P.S.; MARQUES, E. Eficacia do tratamento químico e térmico na destruição de patógenos em lodo digerido. **Revista Microbiologia**, São Paulo, v.7, n.12, p.148-157, 1986.

McGHEE, T.J. Water Supply and Sewage. New York: McGraw-Hill, Inc, 1991.

McGRATH, S.P.; CHANG, A.C.; PAGE, A.L. *et al*. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. *Environ. Rev.*, v.2, p. 108-118, 1994.

MELO, J.W de. e MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. BETTIOL, W e CAMARGO, O. A. (orgs). Campinas, SP : EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.p. 109-141.

MENDES, J.T.G. Determinação de parâmetros operacionais de ETEs e pesquisa quanto à disposição do lodo excedente : análise econômica do lodo da ETE Curitiba. Curitiba : SUREHMA/FINEP, 1981 43p (Relat, 9).

MENDONÇA, L.C. Desidratação Térmica e Desinfecção Química com cal de lodo de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) tratando esgotos sanitários, Dissestação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 130p., São Carlos, SP. 1996.

_____. CAMPOS, J.R. Copmparação do desempenho de 3 concepções de leitos de secagem na desidratação de lodo de Reator UASB. IN: IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engª Sanitária e Ambiental. **Anais...** p.742-747. Porto Seguro/Ba. 2000.

MENDONÇA, S. R. Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente. *Novos Conceitos*. Ed. Universitária. UFPb. João Pessoa/PB. 1990. p.388.

METCALF, B.; EDDY, I.N.C. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 3ª ed. cap.12, p. 765-926, New York : McGraw-Hill. Estados Unidos, 1991.

MIYAZAWA, M.; BLOCH, M.F.M; FERNANDES, F. teores de metais pesados de alguns resíduos orgânicos produzidos no Estado do Paraná. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISADORES NIKKEIS (6 : 1998 : Ilha Solteira, SP). **Anais...** Ilha Solteira : [s.n.], 1998.

ONU – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472p.

OUTWATER, A.B. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. S.l.: Lewia Publishers, 1994. 179p.

PASSAMANI, F. R. F. Remoção de Coliformes Fecais e Patógenos em um Conjunto UASB-BF tratando esgotos sanitários. In.: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Rio de Janeiro/RJ. 1999.

PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; ANDREOLI, C.V.; THOMAZ SOCCOL, V. Helminth eggs viability in sewage and biosolids sludge in Curitiba, Paraná, Brazil. Water Research : Great Britain, 1998.

PAULSRUD, B.; WIEN, A.; TRANUM, I. Stabilization and disinfection of sludge from biological/chemical joint treatment of municipal and industrial (airport) wastewater. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON DISPOSAL AND UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE (1999 : Atenas). *Annals*. Atenas : IAWQ, 1999.

PEREIRA, A.B. ET AL. Utilização de lodo gerado em processo anaeróbio tipo Imhoff como insumo agrícola para a cultura do milho (*Zea mays* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (19 : 1997) : Foz do Iguaçu) *Anais*. Curitiba : ABES, 1997. CD-ROM.

PIERRE, C. V.; QUEZADA DORIA, R. A. 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, 1995.

PIKE, E.B. e DAVIS, R.D. Satabilization and disinfection - Their relevance to agricultural utilization of sludge stabilization and disinfection of sewage sludge, 03 : 1-29, 1984.

PIRES, N.J. Biogás – O aproveitamento dos resíduos orgânicos. Disponível na Internet <http://www.esb.ucp.pt/~bungah/pires/index.htm> – 03/01/2000.

Portaria nº 36/Bsb/90 do Ministério da Saúde.

PRICE, E.C.; CHEREMISINOFF, P.N. Anaerobic digester design. In.: BIOGAS Production & Utilization. Ann Arbor Science – Publishers Inc/The Butterworth Groupo Michigan, p.87-117, 1981.

RAO, K. J.; SHANTARAM, M.V. Concentrations and relative availabilities of heavy metals in urban solid wastes of Hyderabad, India. *Bioresource Technol.*. London, v.53, p.53-55, 1995.

REIFF, F.M. *Importance of environmental health measures in the prevention and control of taeniasis and cysticercosis*. 1994. 12p.

REY, I. Parasitos e Doenças Parasitárias do Homem nas Américas e na África. @ª ed. Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro – RJ. 1991. 731p.

ROBINSON, J., KNOCKE, W.R. Use of dilatometric and drying techniques for assessing sludge dewatering characteristics. Water environment research, v.64, no1, p.60-68, 1992.

SAABYE, A.; KRÜGER, A.S.; SCHWINNING, H.G. **Treatment and beneficial use of sewage sludge in the European Union**: proceedings of a WEF Conferende. [S.1]: WEF, 1994. 12p.

SALVADOR, N.M. Listagem de fatores de emissão para avaliação expedita de cargas poluidoras das águas. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalhos livres. Tomo IV., Goiânia/GO, v.2., p.03-22. 1991

SHANNON, E.E.; LODWIG, F.J.; VALDMANIS, I. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in municipal wastewater : na assessment of the problem in the Canadian lower great lakes. Canada ontario agreement research report. N.49. Canada, Ottawa, 1976.

SILVA, S. A. On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in Northeast Brazil. PhD Theses. Department of Civil Engineering and Applied Science. University of Dundee. Escócia, Reino Unido. 1982. p.203.

SILVERMAN, P.H.; GRIFFITHS, R.B. A review of methods of sewage disposal in great Britain, with special reference to the epizootiology of *ajsticercus bovis*. Trop. Med. Parasit, Stuttgart, v.49, p.436-50, 1955.

SMOLLEN, M. Moisture retention characteristics and volume reduction of municipal sludge. Water As, v.14, no1, p.25-28, 1988.

SOUZA, M.L.P. et al. Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná. SANARE, v.5, n.5, p. 68-75, 1996.

Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater - APHA. 19ª Ed., American Public Health Association, Washibgton, D.C., 1998.

TACKETT, S.L.; WINTERS, E.R.; PUZ, M.J. Leaching of heavy metals from composted sewage sludge as a function of pH. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, v.66,p. 763-765, 1986.

TAN, K.H. **Environmental soil science**. New York : M. Dekker, 1995.

THOMAZ-SOCCOL, V. Aspectos Sanitários do Lodo de esgoto In.: I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul. Anais... Curitiba/PR. p. 65-72, 1998.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI, C.V; LARA, A.I.; FERNANDES, F. (ORGS). Reciclagem de biossólidos : Transformando problemas em solução. Curitiba : Sanepar : Finep, 1999.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Metodologia de Análise Parasitológica em Lodo de esgoto e Esgoto.. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (ORGS.) Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto. Curitiba : Sanepar : Prosab, 2000.

_____. Estudo da viabilidade de ovos de helmintos no lodo obtido por tratamento aeróbico (ETE) e anaeróbico (RALFs). Curitiba : PADCT. Projeto Interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios sanitários, agrônômicos e ambientais para a implantação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto, 1996.

TSADILAS, C.D et al. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fraction. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**,New York, v.26, p. 2603-2619, 1995.

TSANG, K.R.; VESILIND, P.A. Moisture distribution in sludges. **Wat. Science and Tech.**, 22 (12), S.135-142. 1990

TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. BETTIOL, W e CAMARGO, O. A. (orgs). Campinas, SP : EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 69-105.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Health effects of land application of municipal sludge. Research and Development. Cincinnati : USEPA/600/1-85/015, 1985. 78p.

_____. Sludge Treatment and disposal Cincinnati : EPA, v. 1 e 2, 1979.

VAN HAANDEL, A. C. e LETTINGA, G. Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um manual para regiões de clima quente. Egraf, 239p., Campina Grande/PB. 1994.

VESILIND, P. A. The Role of Water in Sludge Dewatering. Water Environment Research, v.66, p.04 – 11, 1994

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

YANKO, W.A., 1987. **Ocurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludges** IN: *Environmental regulation and technology : control of pathogens and vector attraction in sewage sludge*. Rapport U.S. EPA 625/R-92/013, 149. Washington : EPA, 1992.

WEBBER, M.D.; SHAMESS, A. **Land utilization of sewage sludge**: a discussion paper. Toronto : Expert Committee on Soil and Water Management, 1984. 48 p.

ZABEL, T.F. Diffuse sources of pollution by heavy metals. Journal of the Institution of water environmental management, v.7, p.513-520, 1993.