

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**



RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

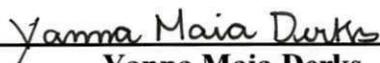
Higienização de Lodo de Esgoto Estabilizado durante a Secagem

Campina Grande - PB

Março de 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
Higienização de Lodo de Esgoto Estabilizado durante a Secagem



Yanna Maia Derks
Aluna



Prof. Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti
Supervisora e Orientadora

Campina Grande - PB
Março de 2005



Biblioteca Setorial do CDSA. Junho de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, meu principal incentivador, aquele que me fez capaz de superar todas as dificuldades encontradas até o momento e que me dá forças para continuar vencendo obstáculos em busca de um futuro melhor. Em segundo lugar agradeço aos meus pais e toda minha família por terem ensinado o quanto é importante ter força de vontade e obstinação para atingir meus objetivos, não esquecendo de agir com justiça, ética e respeito ao ser humano.

Agradeço aos meus professores, que durante toda a minha vida escolar contribuíram não só para a minha formação técnica, mas também ensinaram a importância de uma formação moral, respeitando acima de tudo os princípios da ética profissional; e em especial aos professores Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti e Adrianus van Haandel por terem aceitado dar-me orientação e oportunidade para a realização desse trabalho.

Aos funcionários e laboratoristas que dividiram seus conhecimentos e contribuíram para minha formação profissional.

Á Eduardo Cunha Lima que me incentivou e compreendeu todas as minhas falhas e falta de tempo, á Rafaela Elaine que dividiu comigo os conhecimentos e o trabalho, Nélia, Léo e a todos que me auxiliaram no decorrer do estágio, colaborando na aquisição de conhecimentos relacionados à saneamento.

E agradeço aos meus verdadeiros amigos por termos divididos todos os momentos, fossem eles bons ou ruins, durante toda essa caminhada.

APRESENTAÇÃO

O presente relatório apresenta informações de atividades desenvolvidas no estágio supervisionado da aluna Yanna Maia Derks, regularmente matriculada no curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia, na Universidade Federal de Campina Grande, sob o número de matrícula 20011136. O estágio ocorreu no período de 01 de dezembro de 2004 a 03 de fevereiro de 2005, com disposição de quatro horas diárias que corresponde a 20 horas semanais. O estágio contabilizou um total de 180 horas.

As atividades do estágio foram desenvolvidas no Laboratório de Pesquisa da Área de Engenharia Sanitária do Departamento de Engenharia Civil – CCT – UFCG, dentro do Programa Nacional de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, coordenado pelo Prof. Adrianus van Haandel, localizado na Av. Cônsul Joseph Noujaim Habib, S/N, Catolé, na cidade de Campina Grande.

Este relatório descreve as atividades realizadas no PROSAB, onde foram aprimorados e adquiridos novos conhecimentos. Durante o estágio, trabalhei no Projeto: Estabilização, Secagem e Higienização de Lodo de Sistemas Anaeróbio-Aérobios, juntamente a uma equipe formada por alunos e professores de Engenharia Civil, Engenharia Elétrica e Química Industrial. O objetivo da minha pesquisa era determinar o decaimento de Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* durante o processo de secagem de lodo de esgoto, previamente estabilizado, visando sua aplicação como biossólido na agricultura.

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	02
2.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1	Lodo: Aspectos Gerais	03
2.1.1.	Tipos de subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos.....	04
2.1.2	Gerenciamento do lodo	05
2.2	Organismos Indicadores.....	06
2.2.1	Ovos de helmintos e cistos de protozoários.....	07
2.2.2	Bactérias entéricas patogênicas.....	10
2.3	Potencialidade do uso de lodo de esgoto na agricultura.....	11
2.4	Relação Tempo - Temperatura.....	13
2.4.1	Curva de Sobrevivência Térmica.....	14
2.4.2	Curva de Resistência Térmica.....	16
3.0	METODOLOGIA.....	18
3.1	Coliforme Fecal e E. Coli.....	19
3.2	Ovos de Helmintos.....	20
4.0	RESULTADOS.....	22
5.0	CONCLUSÃO.....	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 - Introdução

O lodo produzido pelas estações de tratamento de esgotos (ETEs) é um resíduo com destino problemático. Mesmo após sofrer tratamento, ainda apresenta grande potencial poluidor e de contaminação. No lodo, a presença de organismos patogênicos, pode causar sérios problemas à saúde dos que o manuseia, podendo se tornar, sem se ter os devidos cuidados, em uma importante fonte de poluição dos rios e mananciais, alterando e dificultando o curso normal de vida da fauna e flora da região afetada.

O lodo estabilizado proveniente das estações de tratamento de esgoto, apresenta-se como uma boa alternativa de fertilização do solo por possuir concentrações consideráveis de nutrientes. No entanto é necessário submeter o lodo a uma higienização de modo a reduzir os riscos de proliferação de doenças. Uma das alternativas para a higienização do lodo consiste no tratamento térmico. A relação tempo de exposição do lodo e temperatura é fundamental para garantir a sua higienização. Desta forma, é necessário estabelecer essa relação, de modo a garantir a destruição e inativação dos parasitos e microrganismos patogênicos mais termoresistentes. Conhecendo-se a termoresistência dos organismos patogênicos, torna-se possível avaliar a eficiência dos processos térmicos de higienização, a partir do acompanhamento da distribuição de temperatura no lodo. Neste sentido, foi realizada uma pesquisa experimental para estabelecer a termoresistência de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, considerando ambos como indicadores de contaminação fecal adequados para avaliar a eficiência do tratamento térmico na destruição de bactérias patogênicas. Também, foi realizado um estudo da termoresistência de ovos de helmintos, devido ao fato desses parasitas, mesmo quando presentes em pequenas quantidades no lodo, proporcionarem altos riscos reais de proliferação de doenças.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LODO: ASPECTOS GERAIS

Esgotos são os despejos provenientes das diversas modalidades do uso das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidades coletivas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros.

Os esgotos domésticos constituem a fração mais significativa dos esgotos municipais e provêm de residências e edificações públicas e comerciais que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas. Apesar da composição do esgoto doméstico variar em função dos costumes e das condições sócio econômicas das populações, este se caracteriza por uma diversidade de bactérias, fungos, vermes e protozoários, e uma fração de sólidos predominantemente de material orgânico (BRAGA *et al.*, 2002).

O objetivo principal do tratamento de esgoto é corrigir as suas características indesejáveis, de tal maneira que o seu uso ou a sua disposição final possa ocorrer de acordo com as regras e critérios definidos pelas autoridades legislativas (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

O termo “lodo” tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. Embora o lodo represente apenas de 1% a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e tem o custo geralmente entre 20% a 60% do total gasto com a operação de uma estação de tratamento de esgoto. (ANDREOLI; VON SPERLING, 2001).

O tratamento e disposição final do lodo de esgoto é um processo problemático e oneroso que pode chegar a absorver 60% dos orçamentos operacionais para controle de poluição das águas nos países desenvolvidos (WEBBER, SHAMES, 1984). Nos países em desenvolvimento e especificamente no Brasil, esta perspectiva ainda não está configurada em virtude do quadro deficitário de atendimento à população com coleta e tratamento de esgotos (ANDREOLI, BONNET, 2000).

2.1.1 Tipos de subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos

Os subprodutos sólidos gerados do tratamento de esgoto são: material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário e lodo químico.

A produção de lodo a ser gerado é função precípua do sistema de tratamento utilizado para a fase líquida. Em princípio, todos os processos de tratamento biológico geram lodo. O lodo resultante da sedimentação, em decantadores primários, dos sólidos decantáveis presentes no esgoto bruto é denominado **lodo primário**. Na etapa biológica de tratamento, o lodo gerado é denominado **lodo biológico** ou **lodo secundário**. Esse lodo é a própria biomassa que cresceu às custas do alimento fornecido pelo esgoto afluyente. Caso a biomassa não seja removida, ela tende a se acumular no sistema, podendo eventualmente sair com o efluente final, deteriorando sua qualidade em termos de sólidos em suspensão e material orgânico. Dependendo do tipo de sistema, o lodo primário pode ser conduzido para o tratamento juntamente com o lodo secundário. Nesse caso, o lodo resultante da mistura passa a ser chamado de **lodo misto**. Em sistemas de tratamento que incorporam uma etapa físico-química, quer para melhorar o desempenho do decantador primário, quer para dar um polimento ao efluente secundário, o lodo originado é denominado de **lodo químico** (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

Em todas as etapas do tratamento de esgoto é necessário o descarte do lodo que pode ser de forma contínua ou em bateladas. Alguns sistemas de tratamento conseguem armazenar o lodo por todo horizonte de operação da estação, como as lagoas facultativas; outros permitem o descarte apenas eventual, como reatores anaeróbios e outros requerem uma retirada contínua ou bastante freqüente, como lodos ativados. Em sistema de lodo ativado o lodo excedente descartado é denominado **lodo de excesso**.

Apesar da taxa de decaimento relativamente alta das bactérias em sistemas de tratamento aeróbio, o lodo de excesso descartado de sistemas de lodo ativado conta ainda com uma fração elevada de material vivo (putrescível), sujeita a decaimento. Por essa razão, o lodo produzido nos sistemas aeróbios é instável a não ser que seja mantido no sistema por um período excepcionalmente longo (1 mês), o que só é possível se o reator for muito grande. Se o lodo de excesso tiver uma alta fração de lodo ativo, este deve ser estabilizado, pois é preciso que se reduza a fração de massa bacteriana viva. Isto pode se

realizar em um reator auxiliar (digestor de lodo) mantendo-se um ambiente aeróbio ou anaeróbio. No último caso, o lodo de excesso (e notadamente a massa bacteriana viva) serve como substrato para populações anaeróbias. O custo da estabilização aeróbia ou anaeróbia em um digestor representa uma fração bastante significativa do custo operacional de sistemas aeróbios (40 a 60 por cento). Em contraste, o lodo anaeróbio de excesso, por sua natureza já é estabilizado quando sai do reator (ele não é suscetível de “apodrecimento”). Por essa razão, o lodo anaeróbio não requer estabilização antes da separação sólido-líquido (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

2.1.2 Gerenciamento do lodo

Segundo von Sperling e Andreoli (2001), o gerenciamento do lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento é uma atividade de grande complexidade e alto custo, e quando mal executada pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas. As principais etapas do gerenciamento do lodo são:

- **Adensamento:** remoção de umidade (redução de volume);
- **Estabilização:** remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis);
- **Condicionamento:** preparação para a desidratação (principalmente mecânica);
- **Desaguamento:** remoção de umidade (redução de volume);
- **Higienização:** remoção de organismos patogênicos;
- **Disposição final:** destinação final dos subprodutos.

Os níveis de patogenicidade do lodo podem ser substancialmente reduzidos através dos processos de estabilização e tratamento, como a digestão anaeróbia ou aeróbia e a compostagem. Entretanto, muitos parasitas intestinais e principalmente seus ovos, são muito pouco afetados por processos de digestão convencional, necessitando uma etapa complementar ou conjugada aos processos convencionais para sua completa inativação, denominada de **higienização** (PINTO, 2001).

A higienização do lodo é uma operação necessária se seu destino for à reciclagem agrícola, já que os processos de digestão anaeróbia e aeróbia geralmente empregados não

reduzem o nível de patógenos aos patamares aceitáveis. Para a incineração ou disposição do lodo em aterro, a higienização não é necessária (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

A higienização do lodo pode estar associada à secagem. Em termos de qualidade do produto final, a secagem ao sol em leito é superior quando comparado com outros métodos como secagem mecânica. Não somente obtém-se um produto muito mais seco (pode-se diminuir facilmente a umidade para menos de 50 por cento), mas também a qualidade higiênica do lodo desidratado em um leito é muito melhor do que de outros métodos de secagem mecânica. Isto se deve ao tempo de exposição (1 a 2 semanas) a uma temperatura muito elevada que se desenvolve no lodo preto devido à absorção dos raios solares. A qualidade higiênica pode ser melhorada quando há uma cobertura no leito de secagem, operando como um aquecedor solar. Nestas condições em regiões tropicais, a temperatura pode facilmente chegar a 60°C ou mais, reduzindo satisfatoriamente a população de patógenos (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). De acordo com Van Haandel e Lettinga (2001), a “pasteurização solar” se torna particularmente importante se o lodo seco é utilizado na agricultura.

2.2. Organismos Indicadores

Nos esgotos sanitários, geralmente estão presentes quatro grupos de organismos patogênicos: fungos, vírus, bactérias e parasitos. A origem destes agentes patogênicos pode ser de procedência humana, o que reflete diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região. Pode ser também de procedência animal, cujos dejetos são eliminados através da rede de esgoto (ex: fezes de cães e gatos), ou então pela presença de animais na rede de esgoto, principalmente roedores. Em relação aos patógenos presentes no lodo, estudos epidemiológicos têm mostrado que bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários representam riscos para saúde humana e animal (SILVA et al, 2001).

Os processos de tratamento do esgoto concentram, no lodo, a maior carga de microrganismos contidos inicialmente no afluente. Na fase de separação, os microrganismos se aderem a partículas sólidas dos sedimentos. A Tabela 01 contém o número previsível de organismos patogênicos presentes nos diversos tipos de lodo.

Tabela 01. Concentração de agentes patogênicos em lodo primário e lodo digerido

Agente patogênico	Tipo de lodo	Numero de patógenos
Ovos de helmintos	Lodo primário	10^3 - 10^4 / kg MS
	Lodo digerido	10^2 - 10^3 / kg MS
	Lodo semi desidratado	10^1 - 10^3 / kg MS
	Lodo de tratamento aeróbio, semi desidratado	10^2 - $7,5 \cdot 10^4$ / kg MS $6,3 \cdot 10^3$ - $1,5 \cdot 10^4$ / kg MS
	Lodo anaeróbio	
Cistos de protozoários	Lodo primário	$7,7 \cdot 10^4$ - $3 \cdot 10^6$ / kg MS
	Lodo digerido	$3 \cdot 10^4$ - $4,1 \cdot 10^6$ / kg MS
	Lodo desidratado	$7 \cdot 10^1$ - 10^2 / kg MS
Bactérias	Lodo	10^1 - $8,8 \cdot 10^6$ / kg MS
	Lodo ETE Belém – PR	10^8 / kg MS
Vírus	Lodo primário	$3,8 \cdot 10^3$ - $1,2 \cdot 10^5$ /l
	Lodo digerido	10^1 - 10^3 / l
	Lodo biológico	10^1 - $8,8 \cdot 10^6$ / kg MS

Fonte: Feix e Wiart (1998), Thomaz Soccol et al. (1997 a,b; 2000)

2.2.1. Ovos de helmintos e cistos de protozoários

Na Tabela 02 abaixo se encontram os principais parasitos (ovos, larvas ou cistos) que podem ser encontrados no lodo e os sintomas que eventualmente podem causar nos homens e nos animais.

Tabela 02. Principais parasitos cujos ovos (helmintos) ou cistos (protozoários) podem ser encontrados no lodo ou no esgoto, hospedeiros normais e acidentais, e doenças causadas nestes hospedeiros

Grupo	Parasito	Hospedeiro	Sintomas Principais
Nematóides	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Homem	Distúrbios digestivos e vômito
	<i>Ascaris suum</i>	Suíno	Distúrbios digestivos e nutricionais, febre
	<i>Ancylostoma duodenale</i>	Homem	anemia
	<i>Trichuris trichiura</i>	Homem	Diarréia, anemia
Cestóides	<i>Taenia solium</i>	Homem, Suínos	Distúrbios digestivos e nervosos
	<i>Taenia saginata</i>	Homem, Bovinos	Distúrbios digestivos e nervosos
Protozoários	<i>Giardia lamblia</i>	Homem, cães, gatos	Diarréia
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Homem, gatos	Alterações de sistema nervoso

Fonte: Thomaz Soccol e Paulino (2000)

Várias são as vias pelas quais o homem ou os animais pode se infectar. A via oral é a mais importante epidemiologicamente, não podendo se descartadas outras vias como a inalação. A infecção se dá de forma: (a) direta, ao se ingerir ou manusear solo ou vegetais com ovos de helmintos viáveis ou (b) por via indireta, com: a ingestão de água contaminada

ou o consumo de vegetais crus plantados em solo adubado com biofóssido contendo ovos ou larvas de helmintos ou cistos de protozoários.

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

Para que uma espécie possa sobreviver e multiplicar-se em dada situação, ele 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 com 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. O tratamento com calor, utilizando estufa, biogás e/ou sol pode ser bastante eficaz na eliminação de 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.

Quanto à dose infectante, para ovos de helmintos e cistos de protozoário apenas um ovo ou cisto é suficiente para infectar o hospedeiro (Tabela 03).

Tabela 03. Dose mínima infectiva (DMI) para cistos de protozoários e ovos de helmintos

Agente Patogênico	DMI
Cistos de protozoários	$10^0 - 10^2$
Ovos de helmintos	$10^0 - 10^1$

Fonte: OMS (1989)

Esgotos brutos gerados no Brasil são caracterizados por elevadas concentrações de ovos de helmintos, o que, de maneira geral, não ocorre em países desenvolvidos, tanto da Europa como da América do Norte (HESPANHOL *et al*, 2001).

2.2.2 Bactérias entéricas patogênicas

Bactérias presentes no lodo são de diferentes origens, como da flora intestinal humana e animal, do solo, do ar e da água. A Tabela 04 apresenta os principais grupos de bactérias patogênicas entéricas de maior interesse e que podem representar riscos para a saúde humana e animal.

Tabela 04. Bactérias presentes em lodo de esgoto (lodo de decantação primária)

Organismo	Doença	Reservatório (em animais)
<i>Salmonella paratyphi</i>	Febre paratífóide	Mamíferos, pássaros e tartarugas
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide	Mamíferos, aves
<i>Salmonella spp</i>	Salmonelose	Bovinos e outros animais
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterites	Animais domésticos
<i>Leptospira spp</i>	Leptospirose	Mamíferos, ratos

Fonte: EPA (1992), ADEME (1998)

A transmissão da maioria das bactérias entéricas dá-se por via oral-fecal pela água e alimentos. A inalação de partículas contendo patógenos também é possível. Esta forma de infecção representa maior risco para indivíduos trabalhando diretamente com lodo, como é o caso de trabalhadores de estações de tratamento, transportadores e espalhadores de lodo. Agricultores que trabalham na área também representam população de risco. Algumas bactérias persistem em animais infectados que funcionam como reservatórios. Vários fatores elevam a possibilidade de transmissão destes patógenos pela aplicação do lodo de esgoto em jardins e culturas de vegetais folhosos (SILVA; FERNANDES; SOCCOL; MORITA, 2001).

Os organismos mais comumente utilizados para tal finalidade são as bactérias do grupo coliforme. Dentre as bactérias intestinais (ou enterobacterias) uma parte pertence ao grupo dos coliformes e apenas uma pequena parte desse grupo é patogênica. A imensa maioria dos coliformes são comensais no intestino, onde fermentam a lactose e ajudam na absorção intestinal.

O grupo de bactérias coliformes, denominado “coliformes totais” é constituído por vários gêneros da família Enterobacteriaceae (*Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Escherichia*). Dentro deste grupo encontram-se os coliformes fecais, que são bactérias que ocorrem com maior frequência em fezes humanas e de animais homeotermos. A sua excreção com as fezes de doentes pode vir acompanhada de patógenos. Assim, quanto maior o número de coliformes fecais maior a probabilidade de se encontrar bactérias patogênicas. Entretanto, as pessoas sadias também excretam coliformes, nas concentrações de 10^9 a 10^{11} por grama de material fecal. O grupo dos coliformes fecais compreende microrganismos em forma de bastonetes, que medem de 0,1 a 0,2um de largura por 1,0 a 2,0 um de comprimento. São Gram-negativos, não esporulados e fermentam a lactose com produção de gás a 44,5°C. Estas características são usados tradicionalmente para sua detecção e assim avaliar o estado sanitário de massas de água e, nas estações de tratamento de esgoto, para ponderar a eficiência do sistema na redução de microrganismos de origem antérico (APHA, 1995).

2.3 Potencialidade do uso de lodo de esgoto na agricultura

O processo de higienização de lodos na estação de tratamento de esgotos tem como objetivo garantir uma qualidade sanitária satisfatória. O lodo ao ser disposto no solo deve estar higienizado de forma a não representar riscos à saúde da população.

A reciclagem na agricultura é uma das mais importantes e promissoras rotas de disposição de lodos para a maioria dos países. O lodo estabilizado e higienizado pode proporcionar a fertilização do solo, aumentar a produtividade agrícola além de impedir eventuais impactos ambientais. As tecnologias disponíveis para higienização de lodos buscam minimizar os riscos de transmissão de doenças, através da redução da concentração

eventuais impactos ambientais. As tecnologias disponíveis para higienização de lodos buscam minimizar os riscos de transmissão de doenças, através da redução da concentração de microrganismos patogênicos a valores que assegurem sua utilização agrícola de modo irrestrito (PINTO, 2001).

A regulamentação para dispor adequadamente os biossólidos deve ser específica de acordo com as condições ambientais, sociais e econômicas de cada região ou país. Os parâmetros internacionais devem servir de referência, contudo devem ser validados através de resultados experimentais que considerem as peculiaridades regionais, tais como o nível e o tipo de industrialização, o perfil sanitário da população e as características pedológicas regionais (SANTOS, 2001).

A agência de proteção ambiental americana (USEPA) adotou como padrão de controle e garantia de segurança à saúde da população, com respeito a microrganismos patogênicos, duas classes de qualidade microbiológica do lodo (40 CFR Part 503). O **lodo classe A** permite o uso do lodo de modo irrestrito, sendo produzido através de processos que garantam uma concentração de microrganismos abaixo do limite de detecção. Ou seja, lodos que tenham passado por um processo de higienização. Já o **lodo classe B**, produzido através de processos convencionais de estabilização, possui algumas restrições e recomendações para sua utilização agrícola (PINTO, 2001).

A Tabela 05 apresenta uma comparação entre os diversos limites de concentração de patógenos utilizados por alguns países para que o lodo seja considerado seguro para a utilização irrestrita na agricultura, nos quais, portanto, os processos de higienização devem atingir.

Tabela 05. Limites de concentração de microrganismos patogênicos

Microrganismo	EUA (40 CFR 503)	África do sul (WRC 1997)	Com. Européia (86/287/EEC)		Comunidade Européia (Nova Proposta)
			França	U.K	
Coliformes fecais	<1000 cfu/g ST	<1000 UFC/10g ST	n.d	Define apenas processos de tratamento do lodo e restrições temporais para plantação, colheita e pastagem	Redução de 6 unidades logarítmicas
Salmonella	<3 NMP/4g ST	0 NMP/10g ST	< 8 NMP/ 10g ST		0 NMP / 50g ST (massa úmida)
Enterovírus	<1 NMP/4g ST	n.d	<3 NMP / 10g ST		n.d
Ovos viáveis de helmintos	< 1 ovo viável/ 4g ST	0 ovos viáveis/ 10g ST	< 3 ovos viáveis/ 10g ST		n.d

2.4 Relação Tempo - Temperatura

Acredita-se que a destruição dos microrganismos pelo calor é devida à coagulação de suas proteínas e especialmente à inativação dos sistemas enzimáticos, necessários ao metabolismo. O tratamento térmico necessário para destruição dos microrganismos ou dos seus esporos é função de seu tipo, estado e de certas condições ambientais (GAVA, 2002).

Apesar das divergências, existe bastante evidência para mostrar a morte logarítmica das bactérias quando submetidas ao calor. Na morte em ordem logarítmica, se as condições térmicas são constantes, a mesma percentagem de bactérias será destruído num dado intervalo de tempo, não importando o número de bactérias sobreviventes. Em outras palavras, se uma certa temperatura destrói 90% da população em 1 minuto, 90% da

intervalo de tempo, não importando o número de bactérias sobreviventes. Em outras palavras, se uma certa temperatura destrói 90% da população em 1 minuto, 90% da população remanescente serão destruídos no segundo minuto, 90% do que resta serão destruídos no terceiro minuto, e assim por diante (GAVA, 2002).

A EPA (Environmental Protection Agency – 1985) recomenda para a redução de patógenos a relação tempo-temperatura abaixo (Tabela 06):

Tabela 06. Relação tempo-temperatura para a redução de patógenos

Organismo	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)
Escherichia coli.	5	70
	15 a 20	60
	60	55
Coliformes Fecais	60	70

Fonte: EPA (1985)

2.4.1. Curva de Sobrevivência Térmica

Também conhecido com o nome de "Survivor curve", "thermal death-rate curve" e "thermal destruction curve". É obtida no gráfico em escala semilogarítmica que possui na ordenada, em escala logarítmica, o número de células vivas remanescentes de uma suspensão de bactérias (ou esporos) e na abscissa o tempo de aquecimento a uma temperatura constante (GAVA, 2002).

Sendo uma destruição em ordem logarítmica, os vários pontos formam uma linha reta, cuja inclinação ("slope") é chamada de tempo de redução decimal ("decimal reduction time" - DRT) ou simplesmente conhecida por D. O valor D pode ser definido como o tempo em minutos, a uma certa temperatura, necessário para destruir 90% dos organismos de uma população, ou para reduzir uma população a um décimo do número original. Também pode ser definido como o tempo em minutos necessário para a curva atravessar um ciclo logarítmico na escala de sobrevivência térmica (GAVA, 2002).

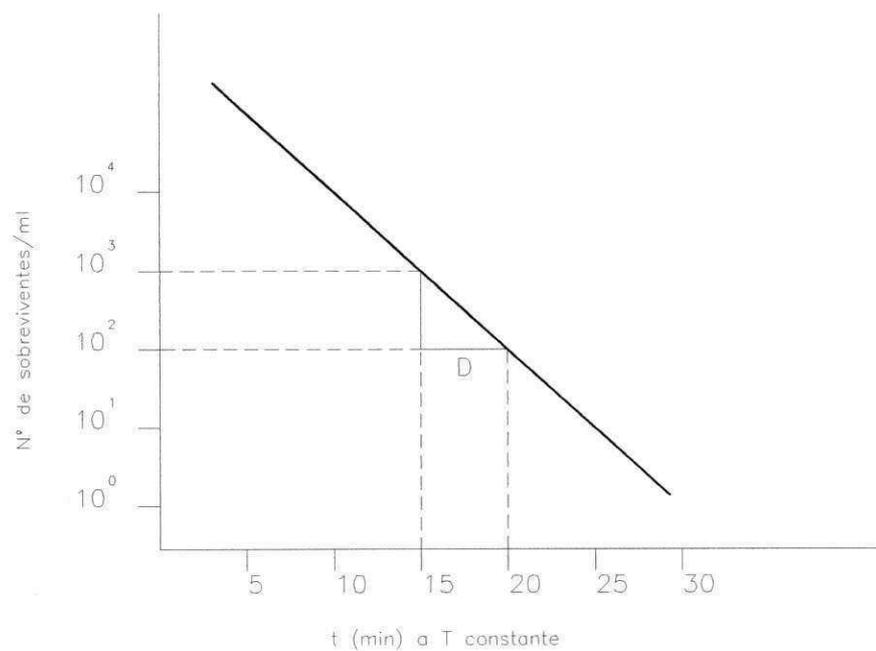


Figura 01: Curva de Sobrevivência Térmica

$$-\frac{dN}{dt} = KN$$

$$-\int_{N_0}^{N_1} \frac{dN}{N} = K \int_0^t dt$$

$$-(\ln N_1 - \ln N_0) = Kt \quad Kt_0$$

$$\ln N_0 - \ln N_1 = Kt$$

$$\ln \frac{N_0}{N_1} = Kt \therefore \frac{2,3}{K} \log \frac{N_0}{N_1}$$

$$D = \frac{2,3}{K} \cdot \log 10 \quad \text{ou} \quad D = \frac{2,3}{K} \quad (01)$$

O valor D é usado comumente para comparar a resistência térmica dos microrganismos.

2.4.2 Curva de Resistência Térmica

A curva de resistência térmica ("thermal resistance curve", "phantom death time curve"), freqüentemente citada como curva de tempo de morte térmica, reflete a resistência relativa das bactérias a temperaturas diferentes. É construída demarcando na ordenada o logaritmo de D (ou algum múltiplo de D), determinado para um microrganismo submetido a várias temperaturas letais, mantendo-se as mesmas condições e, na abscissa, a temperatura correspondente (GAVA, 2002).

O termo z, empregado nos métodos de cálculos de resistência relativa de um microrganismo a diferentes temperaturas, é numericamente igual ao número de graus Fahrenheit requeridos para a curva de resistência térmica atravessar um ciclo logarítmico.

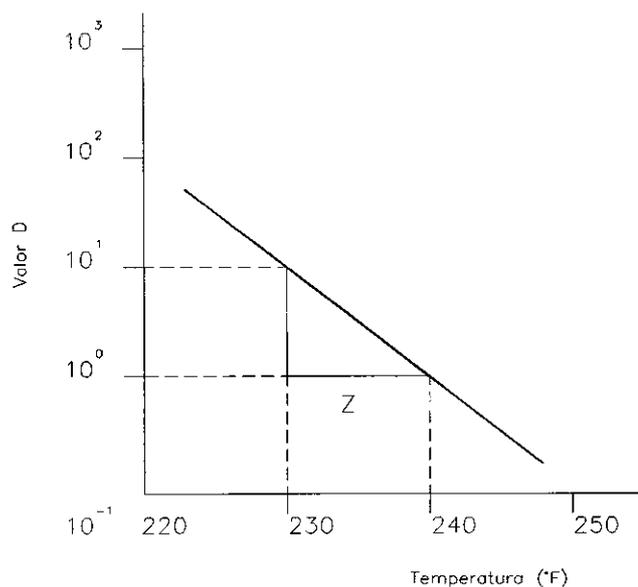


Figura 02: Curva de Resistência Térmica

$$\frac{\log D_2 - \log D_1}{T_2 - T_1} = -\frac{1}{Z}$$

$$\log D_2 - \log D_1 = -\frac{1}{Z}(T_2 - T_1)$$

$$\log \frac{D_2}{D_1} = \frac{T_1 - T_2}{Z} \quad (02)$$

3 - METODOLOGIA

A curva de sobrevivência térmica que representa o decaimento exponencial da população de bactérias no decorrer do tempo em uma determinada temperatura foi obtida a partir de exames microbiológicos realizados em amostras previamente condicionadas a diferentes situações de temperatura e tempo de exposição. Para o estudo da termoresistência de coliformes termotolerantes e *E. Coli* utilizou-se esgoto doméstico como amostra no início como treinamento, e depois foi utilizado lodo. A utilização de esgoto doméstico como amostra ocorreu devido à facilidade de distribuição de calor, diferente do lodo, e pela existência de uma considerável população de coliformes.

As técnicas utilizadas nos exames microbiológicos estão referenciadas na Tabela 07. As temperaturas e os intervalos de tempos utilizados no experimento estão presentes na Tabela 08.

Tabela 07: Metodologias adotadas nos exames microbiológicos e parasitológicos.

Exame biológico	Método	Referência
Coliformes Termotolerantes.	Técnica de Tubos Múltiplos, Enriquecimento em caldo lactosado e teste presuntivo em caldo EC-medium.	(ALPHA, et al., 1989) (SOCCOL, et al., 2000)
<i>Escherichia coli</i>	Técnica de Tubos Múltiplos, Enriquecimento em caldo lactosado e teste presuntivo em caldo EC-MUG.	(ALPHA, et al., 1989)
Ovos Helminthos	Método de Yanko.	(YANKO, 1992)

Tabela 08: Temperaturas e os respectivos intervalos de exposição utilizados nos exames microbiológicos..

Temperatura (°C)	Intervalos (min)
50	15
55	10
60	10 e 3
65	1

3.1. Coliforme Fecal e E.Coli

Pesava 200 g da amostra já homogeneizada e inoculávamos em um Becker contendo 1800 ml de água de diluição (10^{-1}) procedendo-se a partir daí como com amostra líquida. Esta era distribuída em tubos de ensaios e dispostas a Banho Maria com temperatura homogênea e controlada. Quando as amostras alcançavam a temperatura do Banho Maria retirava-se o primeiro tubo para exame e iniciava-se a cronometragem. Após intervalos determinados outros tubos eram retirados para exame. Logo, quando eram retirados do Banho Maria, os tubos de ensaio eram colocados num béquer com água fria e gelo, para que com o choque térmico, pasteurizassem e não ocorresse mais inativação de bactérias com o calor remanescente. Foi utilizada a técnica de Tubos Múltiplos neste exame microbiológico.

Com uma pipeta esterilizada de 10 ml e obedecendo aos cuidados de assepsia, era transferido 1 ml da diluição 10^{-1} para um frasco contendo 9 ± 2 ml da água de diluição tamponada, preparando-se assim a diluição decimal (10^{-2}). Essa diluição decimal era homogeneizada e com uma nova pipeta esterilizada transferia-se 1 ml para outro frasco contendo 9 ± 2 ml da água de diluição tamponada, conseguindo-se assim a terceira diluição decimal.

Homogeneizava-se a 3ª diluição decimal e procedíamos como anteriormente, obtendo-se a 4ª diluição decimal, a 5ª diluição e assim sucessivamente, até a diluição necessária. Colocávamos 1 ml de cada diluição em uma série de 5 tubos de caldo lactosado para cada diluição. E incubar em estufa a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 24 a 28 horas.

Após o tempo determinado para incubação, a leitura dos tubos que apresentavam turbidez e/ou gás nos tubos de Durham (teste presuntivo) era procedida.

Depois era transferido com a ajuda de palito de madeira esterilizado uma alçada dos tubos positivos provenientes do teste presuntivo em Caldo EC MUG, e era incubado por 24 horas a $44,5^{\circ}\text{C}$. Era, então, examinado a presença ou ausência de fluorescência e registrava-se o resultado de E.Coli.

Pela técnica do número mais provável (NMP), pode-se obter informações sobre a população presuntiva de coliformes (teste presuntivo) e sobre a população real de coliformes (teste confirmativo).

O teste presuntivo visa detectar a presença de microrganismos fermentadores de lactose, especialmente do grupo dos coliformes. Baseia-se na utilização de um meio de cultura rico em nutrientes, facilitando o rápido crescimento dos microrganismos. Oferece apenas como fonte de carbono a lactose, que é fermentada pelos coliformes com produção de ácidos e gás, evidenciado pelo tubo de Durhan. O meio contém ainda lauril sulfato, que inibe consideravelmente o crescimento da flora acompanhante.

3.2. Ovos de Helmintos

O estudo da termoresistência de ovos de helmintos foi realizado pelo método YANKO a partir de amostras de lodo primário. Uma amostra representativa de lodo (200 gramas) era diluída 10 vezes e lavado com uma solução tamponada (tampão fosfato) contendo um “surfactante” (tween 80 0,1%). Após a diluição, o material era filtrado em gaze cirúrgica para remoção de partículas sólidas e mantido a temperatura ambiente, por 12 horas, para sedimentar.

O sobrenadante era retirado com auxílio de sifão, e o sedimento resultante e transferido para tubos de centrífuga (50ml) e submetido à centrifugação a 3500rpm por três minutos. O sedimento resultante era ressuspense em solução de sulfato de zinco (v/v) e centrifugado a 3500rpm por três minutos. O sobrenadante era transferido para um frasco de erlenmeyer e diluído à metade da concentração com água destilada. O material era então coberto com papel alumínio e deixado para sedimentar por três horas.

Após o período de sedimentação o sobrenadante era aspirado (o máximo possível) com auxílio de sifão, e sedimento era passado por agitação para os tubos da centrífuga, devendo lavar o béquer para retirar eventuais ovos que tenham ficado aderido à parede. Centrifugava por 1400rpm por três minutos.

Durante a extração dos ovos de helmintos pelo método YANKO, antes do acréscimo de álcool ácido e éter, as amostras eram submetidas, ao Banho Maria, com temperatura e tempos de exposição controlados.

O sedimento resultante era agrupado em um único tubo e ressuspense em solução ácido/álcool. O tubo era agitado e aberto de tempo em tempo para deixar escapar o gás. Centrifugava a 1800rpm por 3 minutos. O sobrenadante era descartado.

Então, o sedimento era ressuspenso em 4ml de solução 0.1N de H^2SO_4 , e usado para determinação do número de ovos de helmintos.

4 - RESULTADOS

A partir das curvas de sobrevivência térmica, obtida nos testes de termoresistência dos organismos indicadores estudados, foi possível determinar os tempos de decaimento decimal (D), que representa o tempo necessário para que ocorra a destruição de 90% da população estudada (uma escala logarítmica). Como podemos observar no gráfico da Curva de Sobrevivência a 55°C (Figura 03), por exemplo, passando retas horizontais de 10^5 e 10^4 até a curva de E. Coli e prolongando para as abscissas, observamos que o tempo de decaimento decimal (D), para *Escherichia coli* a 55°C é de aproximadamente 12 minutos, ou seja, o lodo a uma temperatura de 55°C, necessita de 12 minutos para que 90% da população de E. Coli seja destruída. Da mesma forma, foram feitos para as outras temperaturas e os outros indicadores microbiológicos.

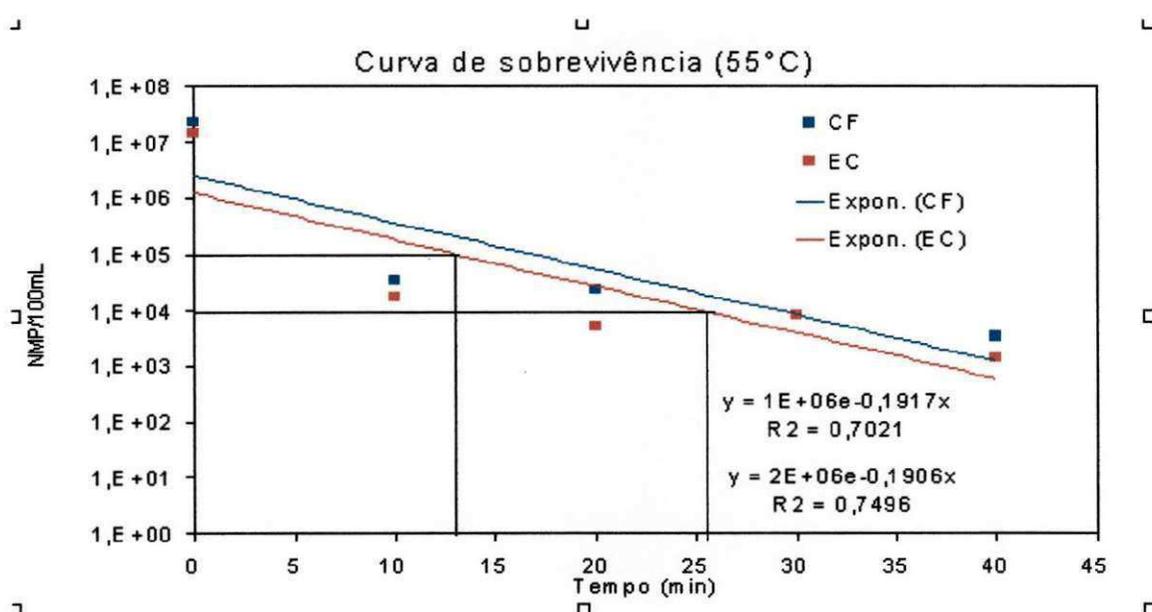


Figura 03: Curva de Sobrevivência Térmica a 55°C

Na Tabela 09 estão presentes os valores experimentais de (D) obtidos nas temperaturas de 55°C, 60°C, 65°C e 70°C.

Tabela 09: Valores dos tempos de redução decimal (D) para coliformes termotolerantes e *Escherichia. coli*

Temperatura	Coliformes termotolerantes	<i>Escherichia. Coli</i>
55 °C	12,07 min	12,00 min
60 °C	3,11 min	3,07 min
65 °C	0,87 min	0,80 min
70 °C	0,22 min	0,21 min

Observando os dados experimentais verifica-se que a termoresistência da *Escherichia coli* é um pouco menor que a do grupo que mesma pertence, coliformes termotolerantes. Fato que questiona a recomendação da EPA em adotar um tempo de 60 min a 70°C para coliformes termotolerantes e 5 min a 70°C para *Escherichia coli*. O tempo excessivo de exposição do lodo a uma temperatura de 70° torna o tratamento térmico oneroso e muitas vezes impraticável. Quando a exposição a 70°C por 10 minutos ou menos já poderá ser suficiente.

Os testes preliminares com ovos de helmintos permitiram determinar qual é a resistência destes nas temperaturas de 50°C, 60°C e 70°C em um tempo exposição de 10 minutos. Na Tabela 10 esses resultados estão apresentados.

Tabela 10: Resistência dos ovos de helmintos submetidos à exposição de 10 minutos nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Temperatura	Redução após 10 minutos
50°C	80%
60°C	90%
70°C	100%

Como o microscópio utilizado tinha uma câmera acoplada foi possível fazer as fotos de alguns ovos de helmintos encontrados, inclusive alguns deteriorados, talvez, por ação da temperatura, como podemos observar nas Figuras 04 e 05.



Figura 04: Ovo de helminto encontrado no lodo



Figura 05: Ovo de helminto desconfigurado

5 - CONCLUSÃO

De acordo com a pesquisa verifica-se que para promover higienização do lodo é necessária uma relação de tempo e temperatura bem menos exigente que o recomendado pela EPA (1985). No entanto, considerando um fator de segurança e o efeito da condutividade térmica do lodo os valores experimentais podem se aproximar do recomendado.

A contaminação do lodo por bactérias patogênicas e ovos de helmintos está diretamente relacionada às condições de saúde da população, portanto, a união dos órgãos de saúde e saneamento, bem como a utilização de recursos técnicos apropriados deve ser utilizada a fim de unificar critérios e recursos que facilitem a abrangência de áreas comprovadamente endêmicas num programa para tratamento direto da população, solucionando assim, indiretamente a concentração de patógenos no lodo de esgoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- # ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F., Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. SANEPAR. Curitiba, 2001.
- # APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the examination of and Wastewater 17th ed. Amer. Public Health Assoc., Americ. Water Works Association, Wate Pollution Control Federation, Washington, D.C., 1989. 1134 p.
- # ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Health effects of land application of municipal sludge. (EPA,n.1-85/015). Washington, DC. (1985).
- # GAVA, Altanir Jaime. Princípios de Tecnologia de Alimentos. Ed. Nobel, 2002
- # SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C. P.; CASTRO, E. A. Metodologias para análise parasitológica em lodo e esgoto. In:Manual de Métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo. SANEPAR. Curitiba, PR. (2000).
- # TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J. M.; MARQUES, M. O., Biossólidos na Agricultura. 1ª Ed. SABESP. São Paulo, 2001.
- # VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G., Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um manual para regiões de clima quente.
- # VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G., O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado, Eppgraf, Campina Grande, 1999.
- # YANKO, W. A. Ocurrence of pathogens in distribution and marketing Municipal sludges. In: EPA Environmental regulation and technology. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Rapport U.S. (1992)