MARILZA DE FÁTIMA SIMONETI

**INATIVAÇÃO TÉRMICA DE OVOS DE HELMINTOS EM ÁGUA E
EM BIOSSÓLIDOS DIGERIDOS:
- CINÉTICA EM REATOR BATELADA E
- MODELAGEM MATEMÁTICA EM REATOR TUBULAR**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em
Engenharia.

São Paulo
2006

MARILZA DE FÁTIMA SIMONETI

INATIVAÇÃO TÉRMICA DE OVOS DE HELMINTOS EM ÁGUA E

EM BIOSSÓLIDO DIGERIDO:

- **CINÉTICA EM REATOR BATELADA E**
- **MODELAGEM MATEMÁTICA EM REATOR TUBULAR**

Tese apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutor em
Engenharia.

Área de Concentração
Engenharia Sanitária

Orientador:
Prof. Dr. Ivanildo Hespanhol

São Paulo
2006

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 12 de dezembro de 2006.

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

Simoneti, Marilza de Fátima

Inativação térmica de ovos de helmintos em água e em biossólidos: cinética em reator batelada e modelagem matemática em reator tubular / M. de F. Simoneti. – ed. rev.-- São Paulo, 2006.

251 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

1.Ascaris 2.Biossólidos 3.Cinética I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II.t.

**Às minhas irmãs Maria Helena Simoneti e
Marilda Simoneti**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ivanildo Hespanhol pela orientação e apoio para execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Reinaldo Giudici pelas valiosas sugestões dadas para o desenvolvimento deste trabalho.

A equipe da oficina mecânica do Centro de Tecnologia em Hidráulica – CTH da Universidade de São Paulo pela preciosa colaboração na montagem dos experimentos.

À Bióloga Dra. Silvana Cutolo pela contribuição na realização dos ensaios microbiológicos.

Aos meus pais Adelfo Simoneti e Vitalina Liz Simoneti pela valorização do conhecimento.

Ao meu amigo Mario Gazzo pelo valioso apoio dado neste trabalho.

À minha amiga Maria das Graças Timbó que tanto contribuiu para a realização deste trabalho.

À FAPESP pelo Auxílio à Pesquisa concedido.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O biofóssido pode ser um valioso recurso ao ser utilizado em solos agrícolas; porém, um dos principais problemas de sua utilização é a presença de patógenos que podem disseminar doenças. Os principais patógenos presentes no biofóssido são vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Dentre os patógenos existentes no biofóssido, os ovos de helmintos são os mais resistentes à inativação térmica e, para helmintos, os ovos de *Ascaris* são utilizados como indicador desses parasitas devido à comum ocorrência e resistência térmica. Dentre os processos efetivos existentes para inativar patógenos do biofóssido - compostagem, secagem e tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica, irradiação com raios beta e gama e pasteurização - este último, utilizando como fonte de calor o vapor saturado gerado a partir da queima do metano produzido em digestores anaeróbios de ETEs convencionais, é um processo de tecnologia simples, com baixo custo de implantação e operação e necessita de pequena área para implantação, sendo indicado para grandes metrópoles de países em desenvolvimento. A inativação térmica de helmintos do biofóssido é o objetivo deste projeto de pesquisa. São estudadas as cinéticas de inativação térmica de ovos de *Ascaris suum* em água e em biofóssido digerido, utilizando-se reator batelada aquecido diretamente com vapor saturado. Aplicando-se o método integral, foram determinadas a ordem das reações, as constantes específicas de morte térmica e as energias de ativação. Os ovos de *Ascaris suum* utilizados no trabalho foram obtidos do útero de fêmeas adultas, e o método de Yanko foi empregado para recuperação dos ovos do biofóssido digerido. A inativação térmica de ovos de *Ascaris* em água e em biofóssido digerido em processo contínuo também foi estudada por meio da modelagem matemática de um reator tubular. Os modelos propostos foram o reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal e o reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal. O primeiro foi o que melhor ajustou-se aos dados experimentais.

Palavras-chave: Biofóssidos. Cinética. *Ascaris*.

ABSTRACT

Biological sludge can be a valuable resource for agricultural soil conditioning. However, an important obstacle for its use is the usual presence of pathogenic organisms, capable of disease dissemination. The main occurring pathogens are virus, bacteria, protozoa and helminth. Helminth eggs are very resistant to thermal inactivation. The *Ascaris lumbricoids* sp. are by far the most conspicuous and resistant among helminths, reason why they have been chosen as indicator organisms for this research. The main available systems to inactivate sludge pathogens are composting, drying and thermal treatment, anaerobic thermophilic digestion, beta and gamma radiation, and pasteurization. Pasteurization through application of saturated steam, produced from burning of methane gas, generated in anaerobic digestors is a very simple technology involving low capital costs and needing relatively small areas for implementation. It can be a valuable technology to attend conditions prevailing in large metropolitan areas of industrializing countries. Thermal inactivation of helminth eggs in water and sludge is the main purpose of this investigation. Kinetics studies of thermal inactivation by saturated steam was performed using batch reactors. Application of the integral method has allowed for the determination of reaction orders, the specific constants of thermal die away as well as the activation energies. The helminth eggs (*Ascaris suum*) utilized have been obtained from uterus of adult females and the Yanko method was utilized for the recovery of eggs from the digested sludge. In the same way the thermal inactivation of *Ascaris* eggs in water and in digested sludge has been performed in continuous process by mathematical modeling of a plug flow reactor. The proposed models were the isothermic plug flow reactor with a non-ideal flow profile and with an axial temperature profile and ideal flow. The experimental data has shown a better adjustment to the isothermic plug flow reactor.

Keywords: *Ascaris*. Kinetics. Biosolids.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - JUSTIFICATIVAS	3
2.1 - <i>BALANÇO DE ENERGIA</i>	4
2.1.1 – Fluxograma do processo	4
2.1.2 – Memória de cálculo	5
3 - REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 - <i>GERAÇÃO DO BIOSSÓLIDO NO TRATAMENTO DE ESGOTO</i>	9
3.2 - <i>CARACTERÍSTICAS DO BIOSSÓLIDO</i>	10
3.2.1 - Características físicas	10
3.2.2 - Características químicas	14
3.2.3 – Características biológicas	16
3.3 - <i>ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO DO BIOSSÓLIDO</i>	26
3.3.1 - Disposição em aterro sanitário	27
3.3.2 -Produção de agregado leve, tijolo, cerâmica e cimento.....	27
3.3.3 - Incineração	29
3.3.4 - Conversão a óleo combustível.....	29
3.3.5 - Recuperação de áreas degradadas	30
3.3.6 - Fazendas de biossólido (landfarming)	30
3.3.7 - Produção de composto.....	31
3.4 – <i>APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO BIOSSÓLIDO</i>	32
3.4.1 - Benefícios	32
3.4.2 -Riscos de poluição	35
3.4.2.1 – Componentes químicos tóxicos	35
3.4.2.2 - Patógenos	39
3.5 – <i>NECESSIDADE DE TRATAMENTO FACE À LEGISLAÇÃO</i>	49
3.5.1 - Regulamentos nacionais	49
3.5.2 - Diretriz 86/278 da Comunidade Européia (CEE 86/278).....	53
3.5.3 - Legislação Norte-americana	54

3.6 – <i>HELMINTOS</i>	59
3.6.1 - Nematóides	59
3.6.2 – Cestóides	63
3.6.3 - Trematódeos	64
3.7 – <i>TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO</i>	65
3.7.1 - Compostagem	68
3.7.2 - Secagem térmica	69
3.7.3 - Tratamento térmico	69
3.7.4 - Digestão aeróbia termofílica	70
3.7.5 - Irradiação com raios beta e raios gama.....	71
3.7.6 - Pasteurização.....	72
3.8 – <i>INATIVAÇÃO TÉRMICA DE PATÓGENOS</i>	74
3.9 – <i>DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA - DTR</i>	79
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	82
4.1- <i>ESCOLHA E OBTENÇÃO DE HELMINTOS</i>	82
4.2 - <i>EXATIDÃO E PRECISÃO DO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DE OVOS DE ASCARIS EM AMOSTRAS DE BIOSSÓLIDO DIGERIDO E DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE SÓLIDOS TOTAIS</i>	84
4.2.1 - Biossólido	85
4.2.2 - Equipamentos.....	85
4.2.3 - Reagentes	86
4.2.4 - Procedimento para determinação da viabilidade de ovos de Ascaris do biossólido	87
4.2.5 - Procedimento para determinação do percentual de sólidos totais (Standard Methods):.....	89
4.3 - <i>CINÉTICA DE INATIVAÇÃO TÉRMICA DE OVOS DE ASCARIS SUUM</i>	90
4.3.1 - Reator batelada com troca indireta de calor.....	90
4.3.1.1 - Equipamentos	91
4.3.1.2- Experimento no Reator batelada com troca Indireta de calor	93
4.3.2 – Reator batelada com troca direta de calor	95

4.3.2.1 - Equipamentos	96
4.3.2.2 - Experimentos no reator batelada com troca direta de calor	97
4.3.2.2.1 - Primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor	97
4.3.2.2.2 - Segundo experimento no reator batelada com troca direta de calor	98
4.3.2.2.3 - Terceiro experimento no reator batelada com troca direta de calor	99
4.3.2.2.4 - Quarto experimento no reator batelada com troca direta de calor	100
4.4- REATOR TUBULAR PARA INATIVAÇÃO DE OVOS DE ASCARIS	102
4.4.1 - Equipamentos utilizados na modelagem do reator tubular.....	103
4.4.2 - Reator tubular com ovos de Ascaris em suspensão aquosa.	105
4.4.2.1 - Distribuição do tempo de residência	107
4.4.2.2 - Processamento contínuo	108
4.4.3 - Reator tubular com ovos de Ascaris em suspensão em biossólido digerido	108
5.4.3.1 – Distribuição do tempo de residência	109
5.4.3.2 - Processamento contínuo	109
4.4.4 - Modelagem matemática do reator tubular.....	109
4.4.4.1 – Reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal	110
4.4.4.2 – Reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal	112
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
5.1 - VIABILIDADE DOS OVOS DE ASCARIS UTILIZADOS.....	115
5.2 - EXATIDÃO E PRECISÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA VIABILIDADE DE OVOS DE ASCARIS EM AMOSTRAS DE BIOSSÓLIDO DIGERIDO.	117
5.3 - CINÉTICA DE INATIVAÇÃO TÉRMICA DE OVOS DE ASCARIS SUUM EM BIOSSÓLIDOS DIGERIDOS.....	124
5.3.1 - Reator batelada com troca indireta de calor.....	124
5.3.2 - Reator batelada com troca direta de calor.	128
5.3.2.1- Primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor	129
5.3.2.2 - Segundo experimento no reator batelada com troca direta de calor	134
5.3.2.3- Terceiro experimento no reator batelada com troca direta de calor	138
5.3.2.4- Quarto experimento no reator batelada com troca direta de calor	146
5.4 - REATOR TUBULAR PARA INATIVAÇÃO DE OVOS DE ASCARIS.	158

5.4.1 – Reator tubular com ovos de Ascaris em suspensão aquosa.....	159
5.4.1.1 – Distribuição do tempo de residência	159
5.4.1.2 – Processamento contínuo	161
5.4.1.2.1 – Reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal	161
6.4.1.2.2 – Reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal	164
5.4.2 – Reator tubular com ovos de Ascaris em suspensão em biossólidos digeridos.....	173
5.4.2.1 – Distribuição do tempo de residência	173
5.4.2.2 – Processamento contínuo	175
5.4.2.2.1 – Reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal	175
5.4.2.2.2 – Reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal	179
5.4.3 - Comparação da desempenho do reator tubular	188
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	192
ANEXO A – Dados do reator batelada com troca indireta de calor	196
ANEXO B – Dados do primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor	204
ANEXO C – Dados do segundo experimento no reator batelada com troca direta de calor	212
ANEXO D – Dados do terceiro experimento no reator batelada com troca direta de calor	217
ANEXO E – Dados do quarto experimento no reator batelada com troca direta de calor	225
ANEXO F – Resultados de distribuição do tempo de residência	231
ANEXO G – Resultados dos experimentos no reator tubular	234
ANEXO H – Modelagem matemática do reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal	236
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	241

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo de inativação térmica de helmintos em biossólido digerido para a ETE Barueri	4
Figura 2 - Reator anaeróbio tipo UASB, localizado no Centro de Tecnologia Hidráulica – USP/ SP.	85
Figura 3 - Reator batelada com injeção indireta de vapor.	90
Figura 4 - Foto do reator batelada com troca indireta de calor.	91
Figura 5 - Caldeira utilizada para gerar vapor saturado para aquecer os reatores.	92
Figura 6 - Autoclave vertical, utilizado para esterilizar o biossólido digerido, proveniente do UASB.	93
Figura 7 - Reator batelada com troca direta de calor.	95
Figura 8 - Foto do Reator batelada com troca direta de calor.	96
Figura 9 - Foto do trocador de calor tubular duplo-tubo, utilizado para inativar ovos de Ascaris, construído no CIRRA.	102
Figura 10 - Esquema do trocador de calor tubular duplo-tubo, utilizado para inativar ovos de Ascaris	103
Figura 11 - Esquema de um módulo de troca térmica da seção de aquecimento do trocador tubular construído no CIRRA.	104
Figura 12 - Sistema de controle do trocador tubular construído no CIRRA.	104
Figura 13 - Purgador de vapor instalado no trocador tubular construído no CIRRA. ..	106

Figura 14 - Esquema do trocador de calor contracorrente e tubo de retenção.	113
Figura 15 - Ovo de <i>Ascaris suum</i> que alcançou o estágio de larva (viável).	115
Figura 16 - Ovo de <i>Ascaris suum</i> que não alcançou o estágio de larva (inviável).	116
Figura 17 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 45, 50 e 55°C.	124
Figura 18 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 60, 65 e 70°C.	125
Figura 19 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 45, 50 e 55°C.	125
Figura 20 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 e 85 °C.	126
Figura 21 - Regressão linear do número total de ovos de <i>Ascaris</i> recuperado versus concentração de resíduo total no biossólido digerido para reator com troca indireta de calor.....	127
Figura 22 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45, 50 e 55°C no primeiro experimento.....	130
Figura 23 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 60, 65 e 70°C no primeiro experimento.....	130
Figura 24 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 75, 80 e 85°C no primeiro experimento.....	131

Figura 25 - Inativação térmica de ovos de Ascaris em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 e 85 °C no primeiro experimento.....	132
Figura 26 - Regressão linear do número total de ovos de Ascaris recuperado versus concentração de resíduo total no biossólido digerido para reator com troca direta de calor no primeiro experimento.	133
Figura 27 - Inativação térmica de ovos de Ascaris em reator batelada com troca direta de calor, nas temperaturas de 70 e 75 °C, no segundo experimento.	135
Figura 28 - Inativação térmica de ovos de Ascaris em reator batelada com troca direta de calor, na temperatura de 80 °C, no segundo experimento.	135
Figura 29 - Inativação térmica de ovos de Ascaris em reator batelada com troca direta de calor, nas temperaturas de 85 e 90 °C, no segundo experimento.	136
Figura 30 - Regressão linear do número total de ovos de Ascaris recuperado versus concentração de resíduo total no biossólido, digerido para reator, com troca direta de calor no segundo experimento.	137
Figura 31 - Inativação térmica de ovos de Ascaris em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45 e 50 e 55 °C.	138
Figura 32 - Inativação térmica de ovos de Ascaris em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 60, 65 e 75 °C.	139
Figura 33 - Inativação térmica de ovos de Ascaris em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 80 e 85 °C.	139

Figura 34 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 45°C para ovos de <i>Ascaris</i> em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor.....	141
Figura 35 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 50°C para ovos de <i>Ascaris</i> em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor.....	141
Figura 36 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 55°C para ovos de <i>Ascaris</i> em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor.....	141
Figura 37 - Efeito da temperatura na perda da viabilidade de ovos de <i>Ascaris suum</i> em água em reator batelada com troca direta de calor, representação da Lei de Arrhenius.....	142
Figura 38 - Estimativa das combinações tempo-temperatura necessárias para inativação térmica de 99,9% de ovos de <i>Ascaris</i> em água no intervalo de temperaturas de 45 a 60 °C.....	145
Figura 39 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45 e 50 e 55 °C.....	147
Figura 40 - Inativação térmica de ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 60 e 65 °C.....	147
Figura 41 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 45°C para ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.....	149

Figura 42 - Regressão linear do $\ln (N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 50°C para ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.....	149
Figura 43 - Regressão linear do $\ln (N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 55°C para ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.....	149
Figura 44 - Regressão linear do $\ln (N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 60°C para ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.....	150
Figura 45 - Efeito da temperatura na perda da viabilidade de ovos de <i>Ascaris suum</i> em biossólido em reator batelada com troca direta de calor, representação da Lei de Arrhenius.....	150
Figura 46 - Estimativa das combinações tempo-temperatura necessárias para inativação térmica de 99,9% de ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido digerido no intervalo de temperaturas de 45 a 65 °C.....	153
Figura 47 - Estimativa das combinações tempo-temperatura necessárias para inativação térmica de 99,99% de ovos de <i>Ascaris</i> em biossólido digerido no intervalo de temperaturas de 45 a 65 °C.....	154
Figura 48 - Regressão linear do número total de ovos de <i>Ascaris</i> recuperado versus concentração de resíduo total no biossólido digerido para reator com troca direta de calor no quarto experimento.....	155
Figura 49 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura da água de 60 °C e vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$	159

Figura 50 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura da água de 60 °C e vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$	160
Figura 51 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 45 °C.	161
Figura 52 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.	162
Figura 53 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C.	162
Figura 54 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45 °C.	162
Figura 55 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.	163
Figura 56 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C.	163
Figura 57 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45 °C.	165

Figura 58 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45 °C.....	165
Figura 59 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45 °C.....	166
Figura 60 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.	166
Figura 61 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.....	166
Figura 62 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.....	167
Figura 63 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C.	167
Figura 64 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C.....	167
Figura 65 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C.....	168

Figura 66 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C	168
Figura 67 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C	168
Figura 68 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C	169
Figura 69 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C	169
Figura 70 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C	169
Figura 71 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C	170
Figura 72 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C	170
Figura 73 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C	170

Figura 74 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C	171
Figura 75 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C	171
Figura 76 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C	171
Figura 77 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C	172
Figura 78 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura do biossólido digerido de 60°C e vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$	173
Figura 79 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura do biossólido digerido de 60°C e vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$	174
Figura 80 – Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 45°C	175
Figura 81 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C	176

Figura 82 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $55 \text{ }^\circ\text{C}$	176
Figura 83 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$	176
Figura 84 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $45 \text{ }^\circ\text{C}$	177
Figura 85 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$	177
Figura 86 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $55 \text{ }^\circ\text{C}$	177
Figura 87 - Somatório da fração não convertida de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$	178
Figura 88 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $45 \text{ }^\circ\text{C}$	180
Figura 89 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $45 \text{ }^\circ\text{C}$	180

Figura 90 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45 °C. 180

Figura 91 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C. 181

Figura 92 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C. 181

Figura 93 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C. 181

Figura 94 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C. 182

Figura 95 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C. 182

Figura 96 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C. 182

Figura 97 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60 °C. 183

Figura 98 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em bioossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C 183

Figura 99 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em bioossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C 183

Figura 100 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em bioossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C 184

Figura 101 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em bioossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C 184

Figura 102 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em bioossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C 184

Figura 103 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em bioossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C 185

Figura 104 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em bioossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C 185

Figura 105 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em bioossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C 185

Figura 106 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C	186
Figura 107 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C	186
Figura 108 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C	186
Figura 109 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C	187
Figura 110 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C	187
Figura 111 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C	187
Figura H1 - Fluxograma representando a rotina de cálculo empregada para obter os perfis de conversão de ovos de Ascaris e temperatura ao longo do comprimento do reator tubular	238

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidades típicas de bioossólidos gerados pelos processos de tratamento de esgoto.	9
Tabela 2 – Conteúdo de Umidade no bioossólido	11
Tabela 3 - Composição química típica do bioossólido e propriedades de bioossólido digerido e de bioossólido sem tratamento.....	15
Tabela 4 – Concentração de Metais pesados em bioossólido da ETE Barueri	15
Tabela 5 – Principais patógenos de interesse no bioossólido	17
Tabela 6 – Disposição final de bioossólidos nos Estados Unidos e na Europa	26
Tabela 7 - Origens, riscos e concentrações de metais pesados em bioossólido.....	37
Tabela 8 – Tempo de sobrevivência de patógenos no solo e na superfície de plantas ...	39
Tabela 9 – Fatores básicos de transmissão de doenças para os grupos de patógenos associados com o aproveitamento do esgoto na agricultura.	41
Tabela 10 - Diretrizes microbiológicas recomendadas para o uso de esgotos na agricultura.	42
Tabela 11 - Resultados de exames parasitológicos de fezes de 2500 pacientes de Belo Horizonte e zonas rurais.....	43
Tabela 12 - Indicadores e densidades exigidas para verificação de processos de redução adicional de patógenos	50

Tabela 13 - Relação dos parâmetros para caracterização química e microbiológica do bio sólido.....	51
Tabela 14 - Concentrações limites de metais no bio sólido – P4230	52
Tabela 15 - Valores limites das concentrações de metais pesados em solos agrícolas e no bio sólidos no estado do Paraná.....	53
Tabela 16 - Taxas cumulativas de aplicação de poluentes.....	58
Tabela 17 - Concentrações limites, concentrações de poluentes e taxas anuais de aplicação de poluentes.....	58
Tabela 18 - Perspectiva geral dos processos existentes para controle de patógenos em bio sólido	67
Tabela 19 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca indireta de calor.....	94
Tabela 20 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca direta de calor no segundo experimento.....	98
Tabela 21 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca direta de calor no terceiro experimento.....	99
Tabela 22 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento.....	101
Tabela 23 - Viabilidade dos ovos de Ascaris da solução padronizada utilizada nos experimentos	117

Tabela 24 - Resultados da análise de precisão e exatidão do método de Yanko, aplicado a amostras de biossólido digerido.	120
Tabela 25 - Síntese dos resultados da análise de precisão e exatidão do método de Yanko aplicado a amostras de biossólido digerido.	121
Tabela 26 – Número de ovos total/200µl com significativa correlação (nível de significância de 5%) com sólidos totais.	127
Tabela 27 - Número de ovos/200ml com significativa correlação (nível de significância de 5%) com sólidos totais no primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor.	132
Tabela 28 - Número de ovos/100µl com significativa correlação (nível de significância de 5%) com sólidos totais no segundo experimento no reator batelada, com troca direta de calor.	136
Tabela 29 - Equação de regressão linear estimada para N/N_0 versus tempo reacional para a água nas temperaturas de 45, 50 e 55 °C, a um nível de significância de 0,05 ..	140
Tabela 30 - Equação de regressão linear estimada para N/N_0 versus tempo reacional para o biossólido nas temperaturas de 45, 50, 55 e 60 °C	148
Tabela 31 - Número de ovos/1ml com correlação não significativa ao nível de significância de 5% com sólidos totais no quarto experimento no reator batelada com troca direta de calor	155
Tabela 32 - Tempos de residência médio, espacial e variância para a água em diferentes vazões	160

Tabela 33 - Frações não convertidas de ovos de Ascaris em suspensão aquosa em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal para todas as condições estudadas.	164
Tabela 34 - Conversões de ovos de Ascaris em suspensão aquosa em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal para todas as condições estudadas.	172
Tabela 35 - Tempos de residência médio, espacial e variância para o bio-sólido digerido em diferentes vazões.	174
Tabela 36 - Frações não convertidas de ovos de Ascaris em suspensão de bio-sólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal para todas as condições estudadas.	178
Tabela 37 - Conversões de ovos de Ascaris em suspensão em bio-sólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal para todas as condições estudadas.	188
Tabela 38 - Comparação das conversões de ovos de Ascaris em suspensão em água em reator tubular para todas as condições estudadas.	189
Tabela 39 - Comparação das conversões de ovos de Ascaris em suspensão em bio-sólido digerido em reator tubular para todas as condições estudadas.	190
Tabela A1 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio-sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 45°C.	197
Tabela A 2 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio-sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 50°C.	198

Tabela A 3 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 55°C	198
Tabela A4 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 60°C.	199
Tabela A5 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 65°C	200
Tabela A6 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 70°C.	201
Tabela A7 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 75°C	202
Tabela A8 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 80°C	202
Tabela A9 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor a 85°C	203
Tabela A10 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados nos ensaios com bio sólido em reator batelada com troca indireta de calor.	203
Tabela B1 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca direta de calor a 45°C	205
Tabela B2 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca direta de calor a 50°C	206
Tabela B3 - Número de ovos Ascaris/200/μl de bio sólido em reator batelada com troca direta de calor a 55°C	206

Tabela B4 - Número de ovos Ascaris/200/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 60°C	207
Tabela B5 - Número de ovos Ascaris/200/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 65°C	208
Tabela B6 - Número de ovos Ascaris/200/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 70°C	209
Tabela B7 - Número de ovos Ascaris/200/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 75°C	210
Tabela B8 - Número de ovos Ascaris/200/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 80°C	210
Tabela B9 - Número de ovos Ascaris/200/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 85°C	211
Tabela B10 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados no primeiro experimento com biossólido em reator batelada com troca direta de calor	211
Tabela C1 - Número de ovos Ascaris/100/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 70°C	213
Tabela C2 - Número de ovos Ascaris/100/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 75°C	214
Tabela C3 - Número de ovos Ascaris/100/μl de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 80°C	214

Tabela C4 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 85°C	215
Tabela C5 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 90°C.	215
Tabela C6 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados no segundo experimento com biossólido em reator batelada com troca indireta de calor	216
Tabela D1 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 45°C	218
Tabela D2 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 50°C	219
Tabela D3 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 55°C	220
Tabela D4 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 60°C	221
Tabela D5 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 65°C	222
Tabela D7 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l em água em reator batelada com troca direta de calor a 75°C	222
Tabela D6 - Número de ovos Ascaris/100/ μ l em água em reator batelada com troca direta de calor a 70°C	223
Tabela D8- Número de ovos Ascaris/100/ μ l em água em reator batelada com troca direta de calor a 80°C	223

Tabela D9 - Número de ovos Ascaris/100/μl em água em reator batelada com troca direta de calor a 85°C	224
Tabela D10 - Média de ovos encontrados nos ensaios com água em reator batelada com troca direta de calor	224
Tabela E1 - Número de ovos Ascaris/ 1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 45°C	226
Tabela E2 - Número de ovos Ascaris/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 50°C.	227
Tabela E3 - Número de ovos Ascaris/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 55°C	227
Tabela E4 - Número de ovos Ascaris/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 60°C	228
Tabela E5 - Número de ovos Ascaris/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 65°C.	229
Tabela E6 - Número de ovos Ascaris/5ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 70°C	229
Tabela E7 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados no quarto experimento com biossólido em reator batelada com troca direta de calor	230
Tabela F1 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para a água para a vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60 °C	232
Tabela F2 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para a água para a vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60 °C	232

Tabela F3 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para biossólido digerido para a vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60°C	233
---	-----

Tabela F4 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para biossólido digerido para a vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60°C	233
--	-----

Tabela G1 - Número de ovos Ascaris/1ml em água em reator tubular	235
--	-----

Tabela G2 - Número de ovos Ascaris/1ml em biossólido digerido com $1,12 \text{ g/l}$ de sólidos totais em reator tubular	235
--	-----

LISTA DE SÍMBOLOS

A_h	Área efetiva de transferência de calor	(m ²)
C_c	Concentração de coliformes fecais por grama de bio sólido, base seca	(CF/g _{BS})
CNTP	Condições normais de temperatura e pressão	
C_o	Concentração de ovos de helmintos por grama de bio sólido, base seca	(ovo/g _{BS})
C_p	Capacidade calorífica	(cal/kg/°C)
$C(t)$	Concentração na saída do traçador	(g/l)
CV	Coeficiente de variação	
D	Diâmetro interno do tubo interno	(m)
D	Tempo de redução decimal	(min)
DQO	Demanda química de oxigênio	(mg/l)
DTR	Distribuição do tempo de residência	
E	Energia de ativação	(cal/mol)
$E(t)$	Função de distribuição do tempo de residência	(adimensional)
F	Vazão molal	(mol/min.)
F_{NO}	Vazão mássica de ovos de <i>Ascaris</i>	(mg/min.)
i	Seção axial	(adimensional)
K	Constante	
k	Constante específica de taxa de morte	(min ⁻¹)
k_o	Fator de frequência	(min ⁻¹)
L_1	Comprimento do trocador de calor	(m)
L_2	Comprimento do tubo de retenção	(m)
L_t	Comprimento total do reator tubular	(m)
m	Massa	(kg)
N	Fração de ovos viáveis de <i>Ascaris suum</i>	(adimensional)
$\bar{N}$	Concentração média do reagente na corrente de saída	(mg/l)

N_{elemento}	Concentração do reagente em um elemento de idade entre t e $t + dt$	(mg/l)
No	Fração inicial de ovos viáveis de <i>Ascaris suum</i>	(adimensional)
NMP	Número mais provável	
OR _s	Número de ovos recuperados da amostra semeada	
OS	Número de ovos semeados.	
OS _s	Média do número de ovos de duas amostras sem semear	
PFRP	Processo com redução adicional de patógenos	
PSPP	Processo com significativa redução de patógenos	
Q	Vazão volumétrica	(m ³ /min.)
Q10	Número de vezes que k muda com a mudança de 10°C	(adimensional)
r	Raio do reator tubular	(m)
R	Constante do gás ideal	(cal/mol/K)
RC _p	Recuperação	(percentual)
R _N	Velocidade de reação	(mg/l.min ⁻¹)
s	Número total de seções axiais	(adimensional)
SD	Desvio padrão	
ST	Concentração de sólidos totais	(g/l)
t	tempo	(min)
$\bar{t}$	Tempo médio de residência (min.)	
t_e	tempo de leitura experimental (min.)	
T	Temperatura absoluta	(K)
T _{BC}	Taxa de aplicação de bio sólido para coliformes fecais (ton _{BS} /ha.ano)	
T _{BH}	Taxa de aplicação de bio sólido para helminto (ton _{BS} /ha.ano)	
T _c	Taxa de aplicação de coliformes fecais (CF/ha.ano)	
T _E	Taxa de aplicação de esgoto	(m/ano)
T _H	Taxa de aplicação de helmintos	(ovo/ha.ano)

T_o	Temperatura de entrada do produto	(°C)
T_v	Temperatura do vapor	(°C)
T_{ar}	Temperatura do ar	(°C)
U	Coeficiente global de transferência de calor	(w/m ² .K)
UFC	Unidade formadora de colônias	
V	Volume do reator	(m ³)
VD_M	Variação da densidade média	(percentual)
X_N	Grau de conversão de ovos de <i>Ascaris suum</i>	(adimensional)
z	Diferença de temperatura requerida para reduzir o valor de D dez vezes	(°C)
Z	Comprimento do tubo	(m)
ΔH	Variação de entalpia	(kcal/kg °C)
$\Delta H_{combustão}$	Poder calorífico inferior	(kcal/kmol)
Δt	Intervalo de tempo	(min.)
Δz	Passo de cada iteração na direção axial	(m)
μ	Média	
ρ	Massa específica	(kg/m ³)
σ^2	Variância	
τ	Tempo espacial	(min)

1 - INTRODUÇÃO

O tratamento dos principais poluidores de mananciais hídricos, os esgotos, resulta na produção de um resíduo denominado biossólido, que é o concentrado, especialmente, da fração orgânica do esgoto produzida durante o tratamento.

As grandes quantidades de biossólido produzidas 35 a 40 gSST/habitante.dia em ETE convencional, aliadas ao fato de diversos projetos de tratamento de esgotos não contemplarem o destino final do biossólido produzido, anulam, parcialmente, os benefícios ambientais do tratamento de esgotos.

As alternativas mais usuais para o aproveitamento e/ou destino final de biossólidos são aterro sanitário, incineração, produção de agregado leve, recuperação de áreas degradadas, fazendas de biossólido, produção de composto e aproveitamento agrícola.

Em regiões fortemente adensadas, a exemplo da região metropolitana de São Paulo, a disposição final do biossólido assume um caráter crítico, devido à grande quantidade de resíduos produzida, aliada à quase inexistência de áreas disponíveis para disposição. Por outro lado, o biossólido pode ser um recurso valioso, por ser altamente disponível nessas regiões, onde se concentra a maior demanda por alimentos, se for empregado em cultivos agrícolas.

Os principais benefícios da aplicação do biossólido no solo são o aumento do fornecimento dos principais nutrientes das plantas (em particular N e P); a provisão de alguns dos micro nutrientes essenciais (tais como Zn, Cu, Mo e Mn); e o aperfeiçoamento das propriedades físicas do solo, reduzindo a erosão, i.e. melhor estrutura do solo, aumento da capacidade de retenção da água no solo devido à agregação da matéria orgânica no solo e melhoria das características de transmissão da água no solo (KORENTAJER, 1991).

Os benefícios do aproveitamento do biossólido na agricultura podem ser limitados pelo seu potencial de risco à saúde, devido, principalmente, aos perigos da transmissão de metais pesados e organismos patogênicos do solo condicionado com biossólido para a colheita, animais e humanos.

Os biossólidos, geralmente, contêm quatro tipos principais de organismos patogênicos: vírus, bactérias, protozoários e helmintos. As espécies existentes e a

densidade de patógenos presentes no biossólido de uma municipalidade em particular dependem do estado de saúde da comunidade local.

A Organização Mundial de Saúde - OMS - (1989), baseada em estudos epidemiológicos, concluiu que os helmintos são os patógenos que apresentam os maiores riscos de transmissão de doenças relacionadas ao aproveitamento agrícola do esgoto, fixando a diretriz microbiológica de, no máximo, 1 ovo de helminto por litro de esgoto. Como o biossólido de ETE constitui-se em um concentrado dos patógenos presentes no esgoto (BERG, 1978), pode-se assumir que, também para o biossólido, os helmintos são os patógenos que apresentam os maiores riscos de transmissão de doenças no aproveitamento agrícola do biossólido.

Os processos efetivos na eliminação de patógenos do biossólido são (EPA, 1992): compostagem, secagem e tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica, irradiação com raios beta e gama, e pasteurização. Dos sete processos definidos como efetivos na eliminação de patógenos do biossólido, cinco usam o calor como fonte de energia para a inativação de patógenos.

O presente trabalho de pesquisa consiste na determinação da cinética de inativação térmica de helmintos em água e em biossólido digerido. Para determinação da cinética, utilizou-se processamento descontínuo (reator batelada). O processamento contínuo também foi estudado por meio da modelagem matemática de um reator tubular para inativação térmica de helmintos em água e em biossólido digerido.

2 - JUSTIFICATIVAS

O aproveitamento agrícola do biossólido, gerado na área metropolitana de São Paulo para fins agrícolas, é a alternativa mais promissora de disposição deste resíduo, do ponto de vista econômico, ambiental e de saúde pública.

Em estudos epidemiológicos, a OMS demonstrou que, nos países em desenvolvimento, os helmintos são os patógenos que apresentam o maior risco de transmissão de doenças relacionadas ao aproveitamento do esgoto na agricultura, fixando a diretriz de 1 ovo de helminto por litro de esgoto para aproveitamento na agricultura.

Os processos convencionais de tratamento de esgoto (sedimentação primária e tratamento biológico) e biossólido (digestão aeróbia e anaeróbia) não inviabilizam os ovos de helmintos presentes, mas os concentram no biossólido digerido, como por exemplo o digerido em São Paulo, que apresentou concentrações médias de ovos de helmintos de 79 a 310 ovos/litro (GASI, 1991).

Dos processos efetivos na redução de helmintos do biossólido, a pasteurização é o processo mais indicado para o tratamento do biossólido gerado na cidade de São Paulo, devido ao baixo custo de implantação e operação, à facilidade de operação e pequena área necessária para implantação. É uma tecnologia simples, de baixo custo, eficiente e adequada ao nível tecnológico das metrópoles dos países em desenvolvimento.

Os processos propostos para a inativação térmica de ovos de helmintos são viáveis economicamente (vide abaixo Balanço de Energia), porém é necessário determinar as cinéticas de inativação desses parasitas para, conseqüentemente, definir o melhor processo e qual o ponto ótimo de operação do sistema.

2.1 - BALANÇO DE ENERGIA

2.1.1 – Fluxograma do processo

Figura 1 – Fluxograma do processo de inativação térmica de helmintos em biossólido digerido para a ETE Barueri

2.1.2 – Memória de cálculo

Os dados utilizados nos cálculos do balanço de energia são da ETE Barueri, que é uma estação de tratamento de esgotos convencional, localizada na margem esquerda do Rio Tietê, no município de Barueri, estado de São Paulo.

Combustão do Gás de Esgoto

O gás de esgoto da ETE Barueri apresenta a seguinte composição volumétrica média, a qual, para um gás ideal (CNTP: pressão = 1atm e temperatura = 0 °C), é a mesma que base molar (NETTO, 1961).

CH₄ 70% CO₂ 25%, N₂ 5%

Assumindo-se 100% de conversão na reação de combustão do gás de esgoto

$-\Delta H_{\text{combustão}} = \text{Poder Calorífico Inferior} = 191.910 \text{ kcal/kmol}$

Base de cálculo: 1 kmol de gás de esgoto

Pela estequiometria da reação, tem-se:

O₂ teórico = 2 x 0,7 = 1,400 kmol

Sabendo-se que a composição do ar em volume é 21% O₂ e 79% N₂, então:

N₂ teórico = 1,4 x (79 / 21) = 5,270 kmol

Trabalhando-se com 20% de ar em excesso, em relação ao ar teórico, para evitar a formação de CO e obter 100% de conversão para CO₂, tem-se:

O₂ alimentado = 1,4 x 1,2 = 1,680 kmol

N₂ alimentado = 1,680 x (79 / 21) = 6,320 kmol

Para os fumos, tem-se:

Número de moles de O₂ = 1,680 - 1,400 = 0,280 kmol

Número de moles de N₂ = 6,320 + 0,050 = 6,370 kmol

Número de moles de H_2O = $0,700 \times 2 = 1,400$ kmol

Número de moles de CO_2 = $0,700 + 0,250 = 0,950$ kmol

Σ número de moles nos fumos = $9,020$ kmol

Cálculo do calor perdido nos fumos

Assumindo-se temperatura de saída dos fumos = 400°C e temperatura de entrada o gás de esgoto = 18°C .

Capacidades caloríficas molares médias dos gases nos fumos kcal/kmol °C				
	O_2	N_2	H_2O	CO_2
(18°C a 400°C)	7,40	7,09	8,35	10,48

Fonte: PERRY, 1984.

$$\begin{aligned}
 \text{Calor Perdido nos Fumos} &= \Delta H = m C_p (T_2 - T_1) \\
 &= (0,280 \times 7,40 + 6,370 \times 7,09 + 1,400 \times 8,35 + 0,950 \\
 &\quad \times 10,48) \times (400 - 18) \\
 &= 26.313 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Calor Restante} &= 0,700 \times \Delta H_{\text{combustão}} - 26.313 \\
 &= 0,700 \times 191.910 - 26.313 \\
 &= 108.025 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Perda de Calor nos Fumos} &= (26.313 \times 100) / 134.337 \\
 &= 19,6\%
 \end{aligned}$$

Assumindo-se 10,4% de perdas na caldeira, devido a perdas para o meio ambiente por irradiação através das paredes do gerador de vapor (BRUCE; OLIVER, 1987) , tem-se:

$$\text{Calor perdido por irradiação} = 134.337 \times 0,104 = 13.971 \text{ kcal}$$

Logo,

$$\text{Calor utilizado para gerar vapor} = 108.025 - 13.971 = 94.054 \text{ kcal}$$

Quantidade de Vapor Gerado

Produzindo-se vapor saturado a 150 °C, e assumindo-se a temperatura da água de alimentação da caldeira a 18 °C. Referência: água líquida a 18 °C com entalpia nula.

Obtém-se das tabelas de vapor de água saturado:

$$H_I \text{ vapor saturado } 150^\circ\text{C} = 655,4 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$H_{II} \text{ líquido saturado } 100^\circ\text{C} = 100 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_{I \rightarrow II} = 655,4 - 100$$

$$\Delta H_{I \rightarrow II} = 555,4 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Balanço de Energia da Água na Caldeira

$$\text{Calor utilizado para gerar vapor} = m_{vp150^\circ\text{C}} \times \Delta H_{I \rightarrow II}$$

$$94.054 = m_{vp150^\circ\text{C}} \times 554,4$$

$$m_{vp150^\circ\text{C}} = 169,3 \text{ kg}$$

Massa de Biossólido Digerido Aquecida

Adotando-se:

$$\text{Temperatura de entrada do biossólido no reator} = 32^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura do biossólido no reator} = 70^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura de saída do vapor do reator} = 100^\circ\text{C}$$

$$\text{Cp do biossólido} = \text{Cp da H}_2\text{O} = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Segundo FAIR; GEYER (1959), o calor específico da maioria dos biossólidos é substancialmente o mesmo da água.

Adotando-se 65% de rendimento térmico no reator, que é um valor médio em termos de equipamentos de pasteurização, conseqüentemente, apenas 65% do calor cedido pelo vapor é aproveitado para aquecer o biossólido.

Utilizando-se um trocador de calor contra corrente biossólido/biossólido, o biossólido pasteurizado a 70°C pode ser resfriado a 55 °C e o biossólido que

alimentará o equipamento de pasteurização pode ser aquecido de 32 a 45 °C (HUBER; MIHALYFY, 1984).

Portanto, tem-se para o bio sólido no pasteurizador:

$$\text{Calor cedido pelo vapor} = 0,65 \times (\text{calor sensível}_{\text{vapor}} + \text{calor latente}_{\text{vapor}}) = m_{\text{bio sólido}} \times C_{p_{\text{bio sólido}}} \times (T_2 - T_1)$$

$$0,65 \times (m_{\text{vp}150^\circ\text{C}} \times \Delta H_{I \rightarrow II}) = m_{\text{bio sólido}} \times 1 \times (T_2 - 45)$$

$$0,65 (169,3 \times 555,4) = 25 m_{\text{bio sólido}}$$

$$m_{\text{bio sólido}} = 2444,8 \text{ kg}$$

Logo, 1 kmol de gás de esgoto gera 169,3 kg de vapor saturado a 150 °C, que pode aquecer, a 70 °C, 2444,8 kg de bio sólido digerido de 45 a 70 °C.

Pelo balanço de energia calculado, a ETE Barueri é auto-suficiente em energia, pois a massa de bio sólido a ser aquecida é 1892 kg; portanto, sobra capacidade para aquecer mais 552 kg de bio sólido.

No caso da ETE Barueri, que produz 20.000 Nm³/dia de gás de esgoto e utiliza 20% deste gás para aquecer os digestores anaeróbios na temperatura de 32 °C, restam ainda 16.000 Nm³/dia de gás de esgoto que podem ser utilizados para pasteurizar o bio sólido para fins agrícolas.

Base de Cálculo: 1 dia de operação da ETE Barueri

Sabendo-se que 1 kmol de gás ocupa, nas CNTP, 22,4 l, tem-se

$$N^\circ \text{ de kmol de gás de esgoto produzido} = 16.000/22,4$$

$$N^\circ \text{ de kmol de gás de esgoto produzido} = 714,3 \text{ kmol}$$

$$\text{Massa de bio sólido possível de ser pasteurizada} = N^\circ \text{ de kmol de gás} \times \text{massa de bio sólido pasteurizada/kmol gás}$$

$$\text{Massa de bio sólido possível de ser pasteurizada} = 714,3 \times 2444,8$$

$$\text{Massa de bio sólido possível de ser pasteurizada} = 1746 \text{ ton/dia}$$

3 - REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - GERAÇÃO DO BIOSSÓLIDO NO TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento dos principais poluidores dos mananciais hídricos, os esgotos, resulta na produção de um resíduo denominado biossólido, que é o concentrado, especialmente, da fração orgânica do esgoto produzida durante o tratamento. Ele origina-se durante a sedimentação primária, que remove cerca de 70% dos sólidos sedimentáveis, durante o tratamento químico, na forma de precipitado, e durante o tratamento biológico, no qual o carbono orgânico é oxidado para formar células biológicas. O desenvolvimento biológico excessivo é removido durante a sedimentação secundária como biossólido secundário (PIKE, 1986).

O biossólido é, portanto, constituído, em boa parte, por bactérias vivas. Como a eficiência dos processos biológicos está ligada à quantidade de células vivas atuantes no processo, os sistemas de tratamento mantêm o afluente em um meio rico em biossólido. Um processo biológico é considerado eficiente e econômico se puder ser operado com baixos tempos de retenção hidráulica e tempos de retenção de sólidos suficientemente longos para permitir o crescimento de microrganismos. Portanto, para os processos de tratamento biológico de esgoto, o seu excesso passa a ser considerado um resíduo. O momento e as condições em que o biossólido deixa de ser matéria prima para se transformar em resíduo depende da tecnologia do sistema de tratamento de esgoto e de sua operação. A Tabela 1 mostra as quantidades de biossólido geradas em cada etapa do processo de tratamento.

Tabela 1 – Quantidades típicas de biossólidos gerados pelos processos de tratamento de esgoto.

Processos de Tratamento	Volume (m ³ de lodo por 1000 m ³ de água)	Massa (kg de sólido por m ³ de água)
Sedimentação primária	3.0	0.144
Filtros	0.7	0.054
Biossólidos ativados	19	0.216

Fonte: SUNDSTROM; KLEI (1979)

O processo de tratamento separa as impurezas presentes no esgoto, produzindo biossólidos ainda na forma líquida, representando cerca de 1 a 2% do volume do esgoto tratado. Apesar do volume, relativamente pequeno, produzido de biossólido, a sua gestão por uma estação de tratamento de esgoto, em qualquer caso, é um dos maiores desafios para o sucesso técnico e operacional do sistema. É também um desafio econômico, já que alguns estudos mostram que o processamento da fase sólida pode representar até 60% dos custos operacionais da estação. Portanto, é necessário que os objetivos da estabilização do biossólido, em determinado sistema, sejam definidos ainda na fase de projeto da estação, e fixados de acordo com o destino final previsto para o biossólido.

Para se ter uma idéia de como deverá evoluir a produção de resíduos do tratamento de esgotos, é prevista, para a região metropolitana de São Paulo, a produção de 766 toneladas/dia em base seca, já no ano de 2015 (SANTOS, 1996), com uma taxa média de crescimento de 1,42% ao ano, nas ETE da Sabesp.

Mesmo com o avanço significativo no desenvolvimento de modernas tecnologias para o processamento do biossólido nos últimos anos, a disposição final do biossólido continua representando um desafio em todo o mundo. Em muitos países, essa dificuldade é acentuada pelo incremento no volume de resíduo produzido, reflexo de investimentos maciços na ampliação da rede de coleta e na construção de sistemas de tratamento dos efluentes urbanos, assim como pela operação efetiva dos sistemas já instalados.

3.2 - CARACTERÍSTICAS DO BIOSSÓLIDO

3.2.1 - Características físicas

O biossólido é uma combinação de água, substâncias solúveis, como minerais e sais, e substâncias insolúveis. As substâncias solúveis e insolúveis podem ser de natureza orgânica ou inorgânica. Por isso, é importante indicar em qualquer caracterização específica de um biossólido: (a) a fonte do biossólido; (b) o processamento usado no biossólido antes da caracterização; e (c) o método de determinação analítica do biossólido.

Os biossólidos podem ser caracterizados de inúmeras maneiras. O método de teste utilizado deve ser cuidadosamente selecionado para se obter a informação necessária. O conteúdo de umidade estabelece os métodos de teste que devem ser usados. Na Tabela 2, há o conteúdo de umidade dos biossólidos.

Tabela 2 – Conteúdo de Umidade no biossólido

Fonte	Conteúdo de Umidade (% em peso)
Sedimentação primária	95 - 97
Sedimentação secundária	98.5 - 99
Tanques de aeração	99.6 – 99.8
Espessadores mecânicos	92 - 95

Fonte: ARCEIVALA (1981).

Os biossólidos de natureza fluida são melhor caracterizados pelas análises para sólidos totais e sólidos suspensos; enquanto os mais viscosos, semisólido e sólido são melhor caracterizados pelos procedimentos para determinação do percentual (sólidos, umidade e possivelmente óleos). O procedimento para sólidos totais é mais rápido do que outros, porém inclui material solúvel e insolúvel; o que é inconveniente para uma análise descritiva de alguns biossólidos, graças ao alto conteúdo de sólidos dissolvidos. As medidas de sólidos suspensos são mais descritivas para a maioria dos biossólidos líquidos, e, se as amostras são devidamente preparadas, a análise irá incluir uma interferência mínima de sais dissolvidos. Todos os testes acima podem ser conduzidos adicionalmente para determinar a porção volátil dos sólidos, devido ao material orgânico presente.

A densidade e, subsequente, a gravidade específica, possuem importância básica na caracterização do biossólido. A densidade é definida como a massa por unidade de volume. No caso do biossólido, a densidade refere-se à densidade das partículas individuais ou o que poderia ser chamado de densidade efetiva. A densidade leva em conta considerações do estado físico (tamanho da partícula, grau de floculação etc.) e a composição química da partícula de biossólido como ela existe, em um sentido discreto na mistura de biossólido. Essa densidade

efetiva é um dos indicadores primários da taxa de sedimentação do biossólido no estado em que ele se apresenta. A razão da densidade de uma substância tal, como o biossólido, para a densidade de uma substância padrão é conhecida como gravidade específica. A substância padrão, nesse caso, é a água, com uma densidade de 1000 g/litro sob as condições padrões de temperatura e pressão. A faixa de gravidade específica varia sob um espectro relativamente largo, dependendo do estado do biossólido (sedimentado, seco etc.). A gravidade específica deve ser estabelecida em relação a um conjunto especificado de condições, sob as quais a amostra foi tomada, e os métodos analíticos de caracterização para o conteúdo de sólidos deverão ser incluídos.

O uso da gravidade específica como um parâmetro descritivo é obscurecido, em muitos casos, pelo uso de medidas de concentração. O uso da concentração tende a fornecer uma forma mais ilustrativa de descrição do biossólido. A concentração é expressa em termos de peso da substância contida em uma unidade de volume de água ou em termos de percentagem em peso. Nesse caso, a substância refere-se a uma mistura heterogênea de compostos sólidos que, quando combinados com a água, constituem o biossólido. Idealmente, o biossólido consiste somente de matéria em suspensão e não de uma fração solúvel que pode ser analisada se toda a amostra for evaporada até a secagem. O sistema métrico é predominante para expressar a concentração, que é medida em porções ou múltiplos de gramas por unidade de volume, geralmente, litro. Em uma base de concentração, 10000 mg/l é considerado como sendo equivalente a 1% em uma base em peso; isso não é inteiramente verdade, devido às implicações da hipótese de a gravidade específica do biossólido ser igual a um.

A representação da informação de caracterização analítica de biossólido na base peso por peso pode ser enganosa, se explicações apropriadas não forem dadas junto aos dados. Isso se aplica a caracterizações grosseiras para classificações de sólidos, como total, suspenso, volátil, fixo, e também a caracterizações elementares para substâncias individuais, tais como metais pesados. A representação dos dados na base peso por peso envolve unidades, como mg/kg de biossólido ou mg/kg de sólido seco.

O estado físico do biossólido depende da quantidade de umidade presente relativamente à quantidade de sólidos, ao grau de manipulação, e à natureza do sólido (granular ou coeso). Quando o conteúdo de umidade diminui, o biossólido muda de estado de um líquido verdadeiro, a um líquido em estado viscoso, um sólido plástico e, subsequente, um sólido seco. Um exemplo de estado altamente líquido em que o biossólido é encontrado, pode ser considerado como sendo a mistura de líquidos de uma unidade de biossólidos ativados ou um sistema biológico similar. Os sólidos são de natureza predominantemente orgânica e, portanto, apresentam uma característica coesa. Se o conteúdo de sólidos suspensos total no biossólido estiver na faixa de, aproximadamente, 1000 mg/l a 8000 mg/l; este biossólido é de natureza totalmente fluida, e somente começa a tornar-se viscoso quando a concentração de sólidos suspensos totais exceder 10000 mg/l.

As características de sedimentação e adensamento do biossólido variam significativamente, dependendo primariamente da fonte e composição do biossólido. A sedimentação é uma forma natural de adensamento; este termo, geralmente, refere-se a formas mecânicas de adensamento, empregando equipamentos especialmente projetados. Geralmente, as características de sedimentação são bem estabelecidas e baseadas em práticas de engenharia; entretanto, é sempre aconselhável conduzir testes de bancada ou, preferivelmente, um conjunto de testes em escala piloto antes de, finalmente, estabelecer critérios aceitáveis de projeto.

Os três tipos básicos de sedimentação são, geralmente, denominados como: (a) discreta; (b) floculenta; e (c) sedimentação por zona. Na sedimentação discreta, as partículas não floculam e, portanto, seu tamanho efetivo, sua forma e densidade não mudam. Cada partícula sedimenta a uma taxa individual baseada no tamanho da partícula, forma e gravidade específica, até alcançar a área de compactação do biossólido. Na sedimentação floculenta, o tamanho, a forma e a densidade das partículas mudam devido à aglomeração de partículas que altera a gravidade específica do biossólido e, conseqüentemente, a taxa de sedimentação. Na sedimentação por zona, as forças inter-partículas são suficientes para impedir independentemente a sedimentação de partículas vizinhas. As partículas tendem a permanecer em uma posição fixa com relação às outras, e a massa de partículas

sedimenta como uma unidade. A interface sólido-líquido desenvolve-se no topo da massa sedimentada.

O índice volumétrico do biossólido é um teste largamente usado, particularmente, na determinação das condições biológicas do biossólido no dia-a-dia da operação das plantas de tratamento. Esse é um teste simples que determina o volume ocupado por 1 ml de biossólido após um período de 30 min de sedimentação. O volume inicial da amostra é de 1 litro.

A capacidade calorífica dos biossólidos pode variar sob uma faixa significativa, dependendo da quantidade e composição da matéria orgânica, assim como da quantidade de água envolvida. A capacidade calorífica é determinada em uma bomba calorimétrica, e os resultados são bem correlacionados ao conteúdo de sólidos voláteis do biossólido.

3.2.2 - Características químicas

Dados típicos da composição química de biossólido sem tratamento e biossólido digerido são fornecidos na Tabela 3.

Considerando-se a disposição final do biossólido processado e o líquido removido do biossólido durante seu processamento, muitos dos constituintes químicos, incluindo os nutrientes, são importantes. A medida de pH, a alcalinidade, e o conteúdo de ácido orgânico são importantes no processo de controle da digestão anaeróbia. O conteúdo de metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos tem sido determinado quando são consideradas a incineração e disposição no solo. O conteúdo de energia térmica do biossólido é importante, quando processos de redução térmica, tais como incineração, forem considerados.

As características do biossólido que afetam sua aceitabilidade para a aplicação no solo e usos benéficos incluem o conteúdo orgânico (geralmente medido como sólidos voláteis), nutrientes, patógenos, metais e orgânicos tóxicos. O valor como fertilizante, que deve ser avaliado quando o biossólido for usado como condicionador do solo, é baseado, primariamente, no conteúdo de nitrogênio, fósforo e potássio. Na Tabela 4, são dadas as concentrações de metais pesados em biossólido da ETE Barueri.

Tabela 3 - Composição química típica do biossólido e propriedades de biossólido digerido e de biossólido sem tratamento.

	Lodo Primário sem Tratamento	Lodo Primário Digerido	Lodo Ativado
Sólidos secos totais (ST), %	2.0 - 8.0	6.0 – 12.0	0.83 – 1.16
Sólidos voláteis (% de ST)	60 - 80	30 - 60	59 - 88
Óleos e Graxas (solúvel em éter)	6 - 30	5 - 20	-----
Proteína (% de ST)	20 - 30	15 - 20	32 - 41
Nitrogênio (N, % de ST)	1.5 - 4	1.6 – 6.0	2.4 – 5.0
Fósforo (P ₂ O ₅ % de ST)	0.8 – 15.0	1.5 – 4.0	2.8 – 11.0
Potássio (K ₂ O, % de ST)	0 - 1	0.0 – 3.0	0.5 – 0.7
Celulose (% de ST)	8.0 – 15.0	8.0 – 15.0	-----
Ferro (não como sulfeto)	2.0 – 4.0	3.0 – 8.0	-----
Sílica (SiO ₂ , % de ST)	15.0 – 20.0	10.0 – 20.0	-----
pH	5.0 – 8.0	6.5 – 7.5	6.5 – 8.0
Alcalinidade (mg como CaCO ₃)	500 - 1500	2500 - 3500	580 - 1100
Ácidos orgânicos (mg como Hac)	200 - 2000	100 - 600	1100 - 1700
Conteúdo de energia (Btu/lb)	10.000 – 12.500	4.000 – 6.000	8000 – 10.000

Fonte: METCALF & EDDY (1991).

Tabela 4 – Concentração de Metais pesados em biossólido da ETE Barueri

Metal pesado	Concentração mg/kg, base seca	Concentração máxima US EPA – 40 CFR
Arsênio	5.3	75
Cádmio	7.7	85
Chumbo	1.52	840
Cobre	6.19	4.300
Mercúrio	1.6	57
Molibdênio	5	75
Níquel	211	420
Selênio	1.4	100
Zinco	1.850	7.500

Fonte: TSUTYA (2000).

3.2.3 – Características biológicas

Os esgotos, geralmente, contêm quatro tipos principais de organismos patogênicos: vírus, bactérias, protozoários e helmintos (vermes parasitas). A Tabela 5 lista alguns dos principais patógenos de interesse que podem estar presentes no esgoto e/ou biossólido.

Vírus

Os vírus podem infectar todas as formas de vida. Diferem de todos os outros organismos infecciosos em sua estrutura e biologia, particularmente, no que se refere à reprodução. Partículas virais não se reproduzem fora de células hospedeiras e são espécies-específicas. Exceção é feita aos reovírus e rotavírus – com sorotipos similares em gado e suínos e em outros animais, inclusive no homem – e ao vírus da hepatite A, infectivo ao homem e a outros primatas; é o vírus que suscita maior preocupação sanitária na aplicação agrícola de biossólidos.

Do ponto de vista epidemiológico, os vírus entéricos são transmitidos, principalmente, pelo contato entre as pessoas, mas também podem ser transmitidos pela água e por alimentos contaminados. Os principais grupos de enterovírus presentes nos excretas são os *Poliovírus*, *Coxsackievírus* e *Echovírus*.

A poliomielite é causada pela infecção do sistema nervoso central pelos *poliovírus* ou, ocasionalmente, por outros enterovírus, constituindo a mais importante doença de origem infecciosa que pode levar à invalidez permanente. Os efeitos clínicos da infecção variam de assintomáticos e indisposições leves, até meningites, paralisias e, possivelmente, a morte. A mortalidade entre os casos de paralisia varia entre 4 e 10%, dependendo da virulência do agente, do grau de cuidados médicos e da idade do paciente.

Tabela 5 – Principais patógenos de interesse no bio sólido

Patógenos	Doenças/sintomas
Vírus	
<i>Poliovírus</i>	Poliomielite, paralisia, meningite, febre
<i>Echovírus</i>	Meningite, doença respiratória, diarreia, febre
<i>Coxsackievírus</i>	Meningite, pneumonia
<i>Hepatite tipo A</i>	Hepatite infecciosa
<i>Rotavírus</i>	Vômito endêmico e diarreia
<i>Reovírus</i>	Infecções respiratórias, gastroenterite
<i>Adenovírus</i>	Doenças respiratórias, infecções nos olhos
<i>Parvovírus</i>	Associada com doenças respiratórias em crianças
Bactéria	
<i>Salmonella sp.</i>	Gastroenterite, febre tifóide
<i>Shigella sp.</i>	Diarreia aguda
<i>Leptospira</i>	Leptospirose
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Escherichia coli (patógena)</i>	Séria diarreia em bebês e gastroenterite em adultos
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite em crianças
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Severa diarreia, septicemia
Helmintos (vermes parasitas)	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariase, distúrbios digestivos, dores abdominais
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ancilostomose (amarelão)
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuríase (inflamação do epitélio do cólon)
<i>Taenia saginata</i>	Teníase
<i>Ascaris suum</i>	Distúrbios digestivos, emagrecimento, febre.
<i>Necator americanus</i>	Anemia, emagrecimento
<i>Toxocara canis</i>	Febre, desconforto abdominal, dores musculares
<i>Hymenolepis nana</i>	Teníase
<i>Hymenolepis diminuta</i>	Distúrbios digestivos
<i>Taenia solium</i>	Insônia, anorexia, dores abdominais
Protozoários	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase (disenteria crônica)
<i>Cryptosporidium</i>	Gastroenterite aguda
<i>Balantidium coli</i>	Diarreia e disenteria
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase (diarreia intermitente)

Fonte: REHM et al. (1986).

Existem duas formas distintas de hepatites virais (A e B), além de uma terceira reconhecida mais recentemente, hepatite nãoA:nãoB (mais comum após transfusões de sangue). A *hepatite A* é transmitida pela rota fecal-oral, enquanto a *hepatite B* é, normalmente, transmitida pelo sangue, por contato sexual ou por líquidos dos tecidos. As características clínicas das hepatites virais variam de infecções não aparentes a leves indisposições, sintomas gastrointestinais moderados sem icterícia, até agudas e prolongadas icterícias e doenças crônicas no fígado. Em geral, a severidade cresce com a idade, mas a recuperação sem seqüelas é comum.

Nas gastroenterites causadas por *rotavírus*, o ataque, geralmente, é repentino, com vômitos, acompanhados ou não por diarréias. A febre pode ocorrer em muitos casos, e a desidratação é freqüente. As taxas de mortalidade em crianças, em países desenvolvidos, são baixas, podendo ser elevadas em crianças não tratadas em países em desenvolvimento.

Bactérias:

Existem poucas bactérias que causam doenças comparativamente ao grande número de bactérias de vida livre. São organismos procariotas, que carecem de membrana nuclear e são unicelulares. As bactérias são divididas em dois grupos maiores, as eubactérias e as arqueobactérias. Aquelas apresentam as formas esféricas, bastonetes e espirilos. Entre as infecções causadas por eubactérias, incluem-se infecção estreptocócica de garganta, tétano, cólera e tuberculose.

As arqueobactérias diferem das eubactérias, principalmente, em relação à sua composição química, à atividade e ao meio ambiente no qual se desenvolvem. Arqueobactérias produtoras de metano vivem em ambientes anaeróbios, por exemplo. Nesse grupo, encontram-se organismos considerados e utilizados como "indicadores", principalmente, na área de Saneamento e Saúde Pública.

O grupo *Escherichia coli* e outros coliformes incluem os bacilos gram-negativos aeróbios ou anaeróbios facultativos, sendo composto por cerca de 20 espécies, dentre as quais encontram-se bactérias originárias do trato gastrintestinal de humanos. Fermentam a lactose com produção de gás a 24 – 48 h a 35 °C.

Os *Coliformes fecais* diferem da definição anterior por restringirem-se aos membros capazes de fermentar a lactose com produção de gás em 24 horas a 44,5 °C. O principal componente desse grupo é a *Escherichia coli*, seja por habitar exclusivamente o trato intestinal do homem e de outros animais de sangue quente, ou por representar cerca de 90% dos organismos presentes em amostras positivas para coliformes fecais.

São considerados indicadores, pois estão presentes no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminados, em grande número, pelas fezes. A presença de coliformes fecais indica o risco potencial da presença de organismos patogênicos, uma vez que são mais resistentes que as bactérias patogênicas de origem intestinal. Esse grupo é, normalmente, utilizado como indicador, seja no controle da qualidade da água tratada, seja em estudos de caracterização de bio sólidos.

Entre as principais doenças de origem bacteriológica, estão o tifo e as diarreias causadas por espécies de *Salmonella*, assim como outras infecções entéricas. *Salmonella sp.* exige alta concentração para manifestar-se em indivíduos saudáveis, mas pode causar desde gastroenterites até septicemia, ou mesmo meningites, chegando à letalidade. É transmissível por água, alimentos e pelo contato direto com animais e humanos infectados.

Shigella sp. ocasiona diarreias agudas, e sua presença está associada somente a condições precárias de saneamento básico. Ocorre no homem e é transmitida pela água, por alimentos e pelo contato direto com infectados. *Shigella sp.* tem dose infectiva menor que a de *Salmonella sp.*, mas tende a sobreviver pouco no ambiente. Infecções agudas com *Leptospira sp.* podem manifestar-se nos rins, no fígado, assim como no sistema nervoso central do homem e dos animais. É transmitido pela urina e é estritamente anaeróbia.

Micobactérias podem causar tuberculose, úlceras de pele e hanseníase no homem e em outros animais, transmitidas por ingestão ou inalação de dejetos infectados.

As enterites devido às *Campylobacter* são infecções causadas pela subespécie *jejuni*. As conseqüências da infecção variam de excreções assintomáticas, sintomas moderados, até doenças severas. Em alguns pacientes, a diarreia é profusa e líquida,

sendo, freqüentemente, acompanhada de fortes dores abdominais, de cabeça e febre. Fezes contendo muco e sangue são comuns, especialmente, em crianças. A doença, usualmente, dura de poucas horas a alguns dias, podendo durar semanas em certos pacientes.

A cólera é, provavelmente, a mais conhecida e temida das doenças diarreicas. Surtos dramáticos de doenças agudas têm sido acompanhados por consideráveis perdas de vida (FEACHEM et al., 1983). A cólera é causada pela infecção bacteriana do intestino fino, existindo dois biotipos de organismo causador, clássico e El Thor, que levam a doenças intestinais agudas, caracterizadas por perdas de água e de eletrólitos em profusão. Podem ocorrer vômitos, em conjunto com câimbras musculares. Alguns pacientes não tratados tornam-se, rapidamente, desidratados, entram em choque e podem morrer; outros experimentam diarreias mais leves. A cólera é transmitida pela rota fecal-oral, de pessoa a pessoa, ou por contaminação fecal da água e de alimentos. A água tem sido considerada a rota normal de transmissão.

O gênero *Yersinia* compreende três espécies, sendo a *Y. enterocolitica* a bactéria que infecta o intestino e o sistema circulatório do homem, gerando enterocolites agudas e septicemia. A diarreia pode ser o único sintoma no homem, mas pode ser também acompanhada por dores abdominais e febres, tornando difícil distinguir a doença, clinicamente, de outras infecções entéricas como as produzidas por certas *Shigellas* e *Salmonellas* (FEACHEM et al., 1983).

Protozoários:

São animais unicelulares, cuja célula é constituída de uma massa de citoplasma contendo um núcleo. De tamanho variável, normalmente, só são visíveis através do microscópio. Quando o protozoário possui membrana tênue e encontra-se em meio fluído, tende a assumir a forma esférica. Se for composto de uma membrana mais espessa, pode apresentar configurações variadas.

A alimentação pode ser holofítica (autotrófica), holozóica e saprozóica. Utilizam energia luminosa para elaborar os hidratos de carbono, empregando substâncias inorgânicas como matéria-prima. Holozóica é a maneira de nutrição mais

freqüente dos protozoários. Muitos deles estão aptos a incluir, no seu protoplasma, partículas orgânicas, submetendo-as a um verdadeiro processo de digestão, e expulsar as porções não aproveitáveis sob a forma de excreta. A alimentação saprozóica ocorre através das membranas do protozoário, quando ele estiver imerso em uma solução líquida, por um processo de osmose (maior probabilidade). Os protozoários podem ser anaeróbios e aeróbios.

Muitas espécies de protozoários podem infectar o homem e causar doenças. As espécies que apresentam habilidade de se albergarem no intestino humano e de outros animais podem causar disenteria. Nas fezes, as formas infectantes são os cistos dos protozoários que, ao serem ingeridos, acarretam novas infecções. As espécies que podem parasitar o intestino humano são a *Giardia lamblia*, o *Balantidium coli* e as amebas *Entamoeba histolytica*, *Endolimax* e *Iodamoeba* (FEACHEM et al.; 1983).

A balantidíase é uma infecção do intestino grosso e, talvez, em cerca de 80% das infecções, o organismo viva como um comensal do intestino, não causando sintomas. A invasão da mucosa pode ocorrer, com menor freqüência, gerando as disenterias balantidianas. As pessoas infectadas podem apresentar diarréias, às vezes com sangue, e desconforto abdominal. A morte pode ocorrer pelo desenvolvimento de ulceração excessiva, com hemorragia e desidratação. Os registros de mortalidade nos trópicos variam de 5 a 35% dos casos clínicos.

A *E. histolytica* é, em princípio, um parasita do intestino grosso. Os sintomas, quando presentes, consistem em diarréias, algumas vezes com sangue, podendo haver dores abdominais. Os trofozóides erodem o tecido epitelial do intestino e colonizam os tecidos sob a mucosa, formando úlceras. As amebas podem migrar, a partir das úlceras, para o fígado e outros órgãos, onde os abscessos podem desenvolver-se. O abscesso pode irromper na cavidade pleural e nos pulmões. A amebíase cutânea pode ocorrer no entorno do ânus ou em fistulas.

A giardíase é uma infecção do intestino fino do homem pelo protozoário *Giardia lamblia*. Os sintomas, quando presentes, podem incluir diarréias freqüentes, em geral, sem sangue. Outros sintomas podem ser a fadiga, desconfortos abdominais e, em alguns casos, febres e vômitos.

O microrganismo *Cryptosporidium parvum* é um parasita de ocorrência mundial, infectando o homem e diversas espécies de animais como cordeiros, frangos, perus, porcos, cães, gatos, pássaros, répteis, e mesmo peixes (BITTON, 1994). Somente nos anos 70 passaram a ser relatadas infecções em seres humanos. A transmissão se dá por alimentos e água contaminados por cistos eliminados pelas fezes de indivíduos ou animais infectados. Os cistos eliminados pelas fezes podem permanecer viáveis por vários meses.

O microrganismo infecta, usualmente, o trato alimentar do homem, particularmente o intestino fino. Os sintomas são as enterocolites agudas, com diarreias líquidas em profusão acompanhadas por sintomas semelhantes à gripe, com perda de peso e, algumas vezes, náuseas, vômitos e febres baixas. Em pessoas com imunodeficiência podem ocorrer diarreias crônicas, debilitação e morte (ANGUS, 1986).

Helmintos

O termo helminto refere-se a dois ramos ou filos: platelmintos (vermes chatos) e nematelmintos (vermes cilíndricos). Ambos apresentam caráter comum de adaptação a uma existência parasitária, e seus ovos são produzidos despropositadamente, se comparados com a quase totalidade das espécies de vida livre, assegurando, assim, maiores probabilidades para a sua propagação.

São organismos grandes e com organização complexa. Embora os estágios invasores possam medir apenas 100 a 200 micrometros, os vermes adultos têm dimensões que variam de centímetros a alguns metros.

Para as principais espécies de helmintos, pode-se calcular que 50 milhões de pessoas são parasitadas pelo *Ascaris lumbricoides*; 25 milhões pelo ancilostomídeos; 30 milhões pelos tricocéfalos; e 10 milhões pelo enteróbio estrangilóide e por cestóides, como as tênias e os himenolépis, (PÊSSOA, 1974). Maiores detalhes sobre helmintos encontram-se no item 3.6.

As espécies existentes e a densidade de patógenos presentes no esgoto de uma municipalidade em particular, bem como no bioossólido produzido durante o tratamento deste, depende do estado de saúde da comunidade local; o que pode variar substancialmente no tempo. O nível de patógenos presentes no bioossólido também

depende da redução realizada pelos processos de tratamento de esgoto e de bioossólido.

Segue abaixo uma síntese das pesquisas anteriores que mostram o destino dos ovos de parasitas e cistos durante o tratamento dos esgotos:

Sedimentação: o intervalo de tempo para os ovos e cistos sedimentarem depende do seu peso. O peso dos ovos de helmintos, particularmente *Ascaris*, faz com que eles sedimentem muito rapidamente. Cistos de protozoários são mais leves e, portanto, demoram mais para sedimentar, tornando-os mais aptos a serem encontrados no efluente líquido (FOSTER; ENGELBRECHT, 1974). CRAM (1943) mostra que, após 3 horas, nem todos os cistos de *E. histolytica* têm sedimentado no fundo de um tanque de 66 cm. Em 2,5 horas, alguns ovos de ancilóstomo são encontrados no topo, e 1/3, no fundo de um tanque experimental de 66 cm. Mas, ao final de 3 horas, nenhum ancilóstomo foi encontrado, exceto no fundo do tanque. Por outro lado, devido ao grande tamanho, os ovos de *Ascaris* sedimentam no fundo em 30 minutos.

LIEBMANN (1964) reporta que um período de sedimentação de 2 horas foi suficiente para remover todos os ovos com gravidade específica igual ou maior do que 1,1. Os ovos de *Taenia saginata* sedimentam 68% em esgoto bruto após 2 horas, e 89%, em 3 horas. Liebmann aponta que, em caso de alta concentração de detergente no esgoto, há interferência na sedimentação dos ovos. Também os efeitos de correntes e vários outros distúrbios no tanque afetam a eficiência da sedimentação. KOOT (1967), em um estudo da prevalência da *E. histolytica* em Israel, mostra que os cistos aparecem no efluente, assim como no bioossólido.

NEWTON et al. (1949) consideram 1 a 2 horas de sedimentação o tempo necessário para remover ovos de *Taenia saginata* em uma planta de sedimentação de laboratório.

Floculação: LIEBMANN (1964) aponta que vários agentes químicos da floculação aperfeiçoam a taxa e a eficiência de sedimentação de ovos de parasitas. CRAM (1943) aponta o uso de agente floculante, particularmente, para auxiliar na

sedimentação de cistos e *E. Histolytica* KOOT (1967) aponta dificuldades em assegurar que todos os cistos sedimentaram. Ele encontra cistos de *E. Histolytica* no efluente de uma planta em Israel.

Tratamento Secundário: os vários processos de tratamento secundário - filtro biológico percolador, filtro de areia intermitente e bioossólidos ativados - são todos não efetivos na destruição das formas parasíticas. CRAM (1943) e LIEBMANN (1964) reportam que essas condições encorajam o embrionamento de ovos de helmintos. Cram observa que elas promovem o embrionamento de ovos de ancilóstomo, e podem levar à ocorrência de larva no efluente. REYES (1963) afirma que a digestão anaeróbia promove, espontaneamente, o embrionamento de ovos de *Ascaris*, em alguns casos, a 30°C. KLABER (1959) conclui que bioossólidos ativados são um excelente meio para chocar ovos de *Schistosoma japonicum*. Filtros de areia e filtros biológicos percoladores são muito eficientes em remover ovos de helmintos do efluente (FOSTER, 1974) e menos eficientes em remover cistos de *E. Histolytica*.

MIJARES (1964) estabelece que ovos de schistossoma passam através de filtros biológicos percoladores, mas não por filtros de areia intermitente. Os ovos são parcialmente removidos durante a filtração, aparecendo no bioossólido produzido. O processo de bioossólidos ativados mantém os ovos suspensos até a sedimentação (KLABER, 1959), e, novamente, a localização final dos ovos é no bioossólido. Há sempre a preocupação de ovos mais leves e cistos (como *E. Histolytica*) permanecerem suspensos e passarem através do efluente (MIJARES, 1964).

Digestão Anaeróbia: visto que a maioria dos ovos e cistos está no bioossólido, seu destino durante a digestão anaeróbia é importante. A eficiência desse processo na destruição de cistos de parasitas e ovos é função de tempo e temperatura. Todos concordam que temperaturas suficientemente altas são efetivas para eliminar as formas infectivas. Geralmente, temperaturas de 60 °C, por 30 minutos ou mais, são necessárias para destruir ovos de *Ascaris*. Temperaturas de 60 °C são raramente alcançadas em processos convencionais de tratamento de esgoto, a não ser que o bioossólido seja incinerado ou propositadamente aquecido, como na Suíça e Alemanha (DEAN; SMITH, 1973). Embora a temperatura que os digestores operam

varie, poucos são reportados, operando a 60°C. Digestores termofílicos são reportados operando de 32 a 53 °C por ROWE (1971) e de 45 a 60 °C por WILEY (1962). As temperaturas dos digestores termofílicos são reportadas de 27 a 35 °C por ROWE (1971), mas a maioria dos pesquisadores tem percebido que cistos são destruídos durante a digestão anaeróbia, e poucos os têm notado como 100% efetivos para ovos.

Se o digestor é operado continuamente ou em batelada, é um fator crítico, segundo MIJARES (1964). Ele afirma que uma temperatura de 60 °C é necessária para assegurar a destruição de todas as formas patogênicas, porque a maioria dos digestores opera de modo contínuo, em vez de batelada; assim, alguns ovos são removidos antes de serem submetidos à temperatura letal por tempo suficientemente longo.

Desinfecção Química e Outros Tipos: ovos de parasitas e cistos são extremamente resistentes a agentes químicos que, normalmente, destroem bactérias e vírus. Todos os pesquisadores relatam que as concentrações de agentes químicos (cloro e ozônio) usados para a desinfecção de efluente de esgoto ou secagem da água, não têm efeito sobre ovos de helmintos e cistos de protozoários (LIEBMANN, 1964). Dos vários ovos de helmintos estudados, os de *Ascaris* são os mais resistentes à destruição química. RUDOLFS et al. (1950) relata que ovos de *Ascaris* podem desenvolver-se, no estágio de embrião, em 50% de ácido sulfúrico, hidrocloreídrico, nítrico e acético. Soluções saturadas de sulfato de cobre, sulfato ferroso e acetato de cobre também suportam o desenvolvimento do embrião.

Os efeitos da desinfecção química em água de abastecimento ou no solo precisam ser considerados. Altas concentrações de cloro são tóxicas aos peixes e plantas. Cuidados precisam ser tomados para se manter o nível de desinfetantes abaixo dos que são tóxicos a organismos aquáticos e terrestres, ou estes podem acumular-se na cadeia alimentar. A possibilidade de interações do cloro com outros compostos da água para a produção de compostos carcinogênicos é outro problema que deve ser considerado pela tecnologia de desinfecção.

3.3 - ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO DO BIOSSÓLIDO

As alternativas mais usuais para o aproveitamento e/ou destino final de bioossólidos têm sido as seguintes (TSUTYA, 2000):

- Disposição em aterro sanitário exclusivo ou não;
- Produção de agregado leve, tijolo, cerâmica e cimento;
- Incineração;
- Conversão a óleo combustível;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Fazendas de bioossólido (landfarming);
- Produção de composto.

O uso agrícola será enfocado em capítulo à parte, por ser o mais importante para este trabalho.

Em países desenvolvidos, como os EUA são produzidos 13 milhões ton/ano de bioossólidos. Na Europa os valores chegam a 16 milhões ton/ano. A Tabela 6 mostra a disposição final de bioossólidos nessas regiões.

Tabela 6 – Disposição final de bioossólidos nos Estados Unidos e na Europa

Formas de Disposição	EUA	Europa
Aterro	41%	40%
Uso agrícola	25%	37%
Incineração	16%	11%
Demais usos*	1%	2%
Disposição oceânica	6%	6%
Outras formas	10%	4

* reflorestamentos/recomposição de áreas degradadas

Fonte: SABESP (1998) apud TSUTYA (2000)

3.3.1 - Disposição em aterro sanitário

A disposição de biossólidos em aterros acaba por ser necessária, de forma a atender a um dos seguintes objetivos: absorção de volumes com características inadequadas a outros usos, ou outra destinação; absorção de volumes excedentes à demanda de outros usos; disposição de cinzas resultantes da incineração (TSUTIYA, 2001).

No aterro exclusivo, os biossólidos podem ser dispostos na forma de tortas desidratadas ou secos termicamente. As tortas de biossólido não apresentam, geralmente, resistência suficiente para submeter-se a um processo de compactação, e o aumento dela é função da redução de sua umidade; o que poderá ser obtido por meio da mistura com outros materiais.

Na disposição com resíduos sólidos urbanos, é inequívoca a vantagem da incorporação dos biossólidos. Geralmente, os resíduos orgânicos urbanos apresentam uma relação C/N e uma umidade adequadas à bioestabilização; porém, basta que se incorporem à massa orgânica resíduos verdes, tais como restos vegetais e restos de feira com grande umidade, para que a relação aumente, dificultando ou interrompendo o processo de degradação. A incorporação de biossólidos a essa mistura, na forma de tortas com umidade entre 60 e 70%, além de possibilitar o restabelecimento de umidades adequadas, corrige a relação C/N pela incorporação de N encontrado nos biossólidos. Além disso, sabe-se que a degradação de resíduos sólidos orgânicos urbanos em aterros é extremamente lenta. Biossólidos previamente submetidos à degradação anaeróbia servem de excelente inóculo e de material de aceleração do processo, diminuindo o tempo de partida da célula de aterro.

3.3.2 -Produção de agregado leve, tijolo, cerâmica e cimento

A produção de agregados leves a partir de biossólidos digeridos anaerobiamente foi desenvolvida pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. O material foi utilizado na fabricação de peças pré-moldadas em pisos de concreto de pátios, na fabricação de blocos de concreto para pavimentação e na execução de laje de concreto (IPT, 1979).

O processo de produção consiste nas seguintes etapas: desidratação do bio sólido, digerido, até 30% de sólidos; secagem natural em galpão, até 40% de sólidos; mistura do bio sólido com sinter de retorno; pelletização em tambor rotativo, produzindo pequenas pelotas com 4mm de diâmetro, no máximo, e umidade de 45%; secagem em leito fluidizado com correntes de ar quente, utilizando como fonte de energia os gases da digestão, até 10% de umidade e granulometria de até 4 mm; e sinterização com autosustentação da temperatura em cerca de 1000 °C, por 20 minutos, pela combustão da matéria orgânica; britagem dos blocos sinterizados e classificação do material, com o agregado leve possuindo 570 kg/m³ de densidade, e granulometria de 2,4 a 25 mm de diâmetro (SANTOS, 1996).

A produção de tijolos tem sido praticada em escala industrial em Port Elizabeth, na África do Sul, desde 1979. A fase sólida do tratamento utiliza a mistura de bio sólidos brutos primários e secundários, e envia-os para tratamento térmico pelo processo zimpro de oxidação úmida (vapor a 187 °C e pressão de 2.200 kPa). O bio sólido esterilizado é adensado por gravidade, seguindo-se a sua desidratação por centrífugas, que consomem 0,6 kg de polieletrólito por tonelada de sólidos secos processados. O bio sólido é misturado em uma proporção de 30% em volume com a argila, para a fabricação de tijolos comuns, e, de apenas 5 a 8% em volume, quando são produzidos tijolos de acabamento. Os torrões de argila-bio sólido passam por um moinho para a redução até partículas de 12mm de diâmetro, sendo novamente moídos à alta rotação para a granulometria máxima de 2,5 mm. Passam por um misturador de duplo eixo, no qual recebe água para formação de uma massa homogênea a 20% de umidade. Essa massa é guilhotinada em segmentos de 1,15 m, sendo novamente seccionada por fios, para a produção de 15 tijolos de peso convencional, que são conduzidos por vagonetes à área de secagem. A secagem é realizada à temperatura ambiente por duas semanas ou, em estufas, por 48 horas entre 60 e 65°C. Após a secagem, os tijolos são levados para a queima em fornos-túneis, seguindo-se o resfriamento por ventilação forçada e por ventilação natural (TSUTIYA, 2000).

Na Catalunha, Espanha, o processo de produção de cerâmica, a partir de mistura do bio sólido com a argila, vem sendo desenvolvido desde 1993; obtendo-se um produto com características de resistência mecânica similares ao produto

tradicional e com melhores condições de isolamento térmico e acústico (TSUTIYA, 2000).

A utilização do biossólido na indústria de cimento pode ser benéfica sob dois aspectos, como combustível auxiliar para os fornos de clinkerização e como matéria adicional misturada à farinha crua a ser clinkerizada. No processo, o biossólido desidratado é convertido em material seco por meio de secagem e mistura com cal. Umidade e odor são removidos pelo exaustor de gás. O material seco produzido pelo sistema é misturado com outros materiais, moído, queimado e resfriado para a produção do clinker, os quais são, novamente, moídos antes da mistura com gesso calcinado para a produção final do cimento (TSUTIYA, 2000).

3.3.3 - Incineração

A incineração é um método de tratamento que se utiliza da decomposição térmica via oxidação a temperaturas acima de 700 °C, com o objetivo de reduzir o volume pela conversão dos sólidos voláteis em gases e dos sólidos fixos em cinzas, resultando em um volume de, aproximadamente, 20% do original (TSUTIYA, 2001).

São eliminados, no processo, os microrganismos patogênicos e os compostos orgânicos tóxicos; os metais não são eliminados pelo processo, e concentram-se nas cinzas.

As cinzas da incineração podem ser reaproveitadas como mistura para a produção de asfalto, corretivo de solos após a mistura com biossólidos do tratamento de água; material de enchimento na produção de tijolos, e agregados leves para concreto (WEF, 1994).

3.3.4 - Conversão a óleo combustível

A tecnologia de conversão do biossólido em óleo combustível tem sido desenvolvida e demonstrada na Alemanha, Austrália e no Canadá, nos últimos 15 anos. Os principais aspectos benéficos dessa tecnologia são: a completa reciclagem do biossólido, recuperação de energia, imobilização de metais pesados, destruição de

patógenos e compostos organoclorados e produção pequena de gás (TSUTIYA, 2001).

A produção de óleo é variável, conforme a origem do bio sólido, sendo tipicamente igual a 25% da massa de bio sólido ou equivalente a 200 ou 300 litros por tonelada de bio sólido processada (base seca); o que implica em aquecer o bio sólido a cerca de 450°C na ausência de oxigênio, provocando a evaporação de, aproximadamente, metade da quantidade de bio sólido. Os vapores entram em contato com os resíduos do carvão, catalisando as reações na fase de vapor, que convertem os compostos orgânicos em hidrocarbonetos saturados, constituintes principais dos combustíveis líquidos (TSUTIYA, 2000).

3.3.5 - Recuperação de áreas degradadas

As áreas degradadas caracterizam-se pela falta de matéria orgânica e nutrientes; o que impede a fixação e o desenvolvimento da vegetação. Normalmente, são áreas onde foram praticadas atividades extrativistas de forma intensa, como a mineração.

A aplicação de bio sólido nessas áreas traz benefícios às propriedades físicas do solo, pois este é um condicionador, melhorando a formação de agregados, a infiltração, a retenção da água e a aeração do solo. O valor da taxa de aplicação é função do tipo de matéria orgânica e nutrientes necessários ao solo, para suportar a vegetação até que o ecossistema de auto sustentação seja estabelecido. A taxa de aplicação típica é de 112 ton secas/ha (TSUTIYA, 2000).

3.3.6 - Fazendas de bio sólido (landfarming)

Consiste na mistura do bio sólido com a camada de solo existente na zona arável, a qual deve ser revolvida periodicamente. Devido ao fato de ser um processo aberto, sem qualquer sistema de impermeabilização, um landfarming mal projetado ou gerenciado pode trazer problemas de contaminação de águas superficiais e subterrâneas, assim como do ar e do solo (TSUTIYA, 2001).

3.3.7 - Produção de composto

A compostagem é um processo biológico aeróbio exotérmico, no qual os sólidos orgânicos degradáveis do biossólido são estabilizados ou digeridos. O produto final, além da geração de vapor d'água e gás carbônico, é um condicionador de solo rico em compostos húmicos (WEF, 1995).

Durante o processo de biodegradação da matéria orgânica, a temperatura eleva-se, geralmente, na faixa de 60 a 65 °C nos primeiros dias do processo. Essa elevação da temperatura é responsável pela redução dos microrganismos patogênicos presentes no biossólido. Para a compostagem do biossólido, há necessidade da mistura de outros resíduos, tais como bagaço de cana, serragem de madeira, palha etc. Esses resíduos participam do processo como fonte de carbono e material estruturante, e o biossólido, como fonte de nitrogênio, fósforo, entre outros nutrientes, e umidade.

Os principais objetivos da compostagem são a conversão biológica de matéria orgânica putrescível para uma forma estabilizada, destruição de patógenos, redução da umidade do biossólido e produção de um produto que pode ser utilizado na agricultura.

As técnicas de compostagem mais utilizadas incluem o sistema de leiras revolvidas (windrow), o de leiras estáticas aeradas (static pile) e sistemas fechados (in vessel). No processo de leiras revolvidas, de implantação e operação mais simplificada, o biossólido é misturado ao material estruturante, e disposto em áreas abertas, em leiras de seção triangular, com cerca de 2 a 3 m de base, altura de 1,2 a 2 m, e comprimentos variáveis. A aeração ocorre pela convecção e difusão da massa de ar, e pelo revolvimento periódico. Em condições adequadas, a temperatura pode atingir valores acima de 55 °C em poucas semanas, a partir do início do processo, permanecendo nessa faixa a maior parte do ciclo, que dura 30 a 50 dias. Nas leiras estáticas aeradas, a introdução de ar é forçada por insuflação ou aspiração, por meio de tubos perfurados, instalados sob as leiras. O processo dura de 14 a 28 dias (WEF, 1995).

Em sistemas fechados, a compostagem é realizada em tanques verticais ou horizontais, construídos em aço ou concreto armado, com revolvimento mecânico do

material. Ocupa áreas menores que os demais sistemas, sendo os parâmetros do processo mais facilmente controlados; o que reduz o tempo de detenção para 7 a 20 dias (TSUTIYA, 2000).

3.4 – APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO BIOSSÓLIDO

3.4.1 - Benefícios

Para crescer e produzir adequadamente, as plantas necessitam de 16 elementos químicos considerados essenciais, denominados macronutrientes; três deles, o C, o H e o O, são retirados do ar na forma de gás carbônico e água. Outros macronutrientes, tais como: N, K, P, Ca, Mg e S são extraídos pelas plantas, primordialmente, do solo. Os micronutrientes Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B e Cl, que, embora não sejam considerados essenciais, têm efeito positivo sobre os vegetais, são também retirados em quantidades significativas dos solo (MELO, 2000).

Dessa forma, o solo deve estar em condições de fornecer os nutrientes das plantas em quantidades adequadas e no momento de suas necessidades. Como, geralmente, os solos não se apresentam em condições de atender às necessidades das culturas, o homem tem que intervir por meio de um manejo adequado do sistema solo-planta, incluindo a aplicação de fertilizantes minerais, orgânicos etc.

Os principais benefícios da aplicação do bio sólido no solo são o aumento do fornecimento dos principais nutrientes das plantas (em particular N e P); a provisão de alguns dos micronutrientes essenciais (Zn, Cu, Mo e Mn); e o aperfeiçoamento das propriedades físicas do solo, reduzindo a erosão, i.e. melhorando a estrutura do solo, aumentando - a capacidade de retenção da água no solo, devido à agregação da matéria orgânica no solo, e melhoria das características de transmissão da água no solo (KORENTAJER, 1991). Dessa forma, o emprego do bio sólido na agricultura pode reduzir ou eliminar por completo a necessidade de aplicação de fertilizantes comerciais, além de atuar como um condicionador do solo.

A presença da matéria orgânica melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade, e aumenta a aeração. A influência da aplicação de bio sólido sobre a densidade do solo ocorre, porque a matéria orgânica e os cátions

presentes (Ca^{+2} e Al^{+3} dentre outros), ao promoverem a agregação de partículas do solo, determinam o aumento do volume do mesmo, causando redução de sua densidade.

Há um gradual decréscimo no conteúdo de matéria orgânica dos solos cultivados no mundo, como resultado do excessivo uso de fertilizantes minerais. Em áreas quentes, esse processo é acelerado graças à rápida decomposição microbiológica da matéria orgânica no solo. A diminuição do conteúdo de matéria orgânica no solo é um problema de principal interesse, visto que pode levar à deterioração das propriedades físicas do solo e à acelerada erosão.

Em solos de regiões tropicais e subtropicais, a matéria orgânica desempenha papel de fundamental importância na fertilidade, por se tratar de solos altamente intemperizados, cujos minerais, já na escala final do intemperismo, caso da caolinita e gibsita, possuem baixa capacidade de troca catiônica e pouca liberação de nutrientes para as plantas. E assim sendo, a matéria orgânica, além de se constituir em um dos principais componentes da troca catiônica, durante o processo de mineralização, libera nutrientes para a nutrição dos vegetais.

Na maioria dos casos, o conteúdo de nitrogênio determina a taxa máxima de aplicação anual. Em princípio, o biossólido é aplicado para fornecer o nitrogênio necessário para as plantas (US EPA, 1983). Enquanto o nitrogênio necessário para as plantas pode ser avaliado com alguma certeza, a disponibilidade do nitrogênio derivado do biossólido (e fósforo) é mais difícil de ser prevista. O nitrogênio no biossólido existe predominantemente na forma orgânica, precisando ser transformado para a forma inorgânica pelo processo de mineralização antes de estar disponível para as plantas. Desta forma, em geral, a disponibilidade de nitrogênio no biossólido é consideravelmente menor do que nos fertilizantes inorgânicos comerciais.

A taxa de decomposição da matéria orgânica no biossólido é altamente variável, e depende do tipo de processo de tratamento do esgoto e de fatores, tais como a composição do biossólido, o pH, a temperatura etc. Com relação ao N orgânico, uma estimativa, geralmente usada da taxa de mineralização para o primeiro ano após a aplicação, é de 40% para biossólidos não estabilizados e biossólidos ativados, 20% para biossólido anaerobiamente digerido e 10% para biossólido compostado (KORENTAJER, 1991).

Os fertilizantes comerciais contêm, tipicamente, entre 8 e 24% de P em peso seco, enquanto os biofertilizantes contêm cerca de 0,8 a 6,1%. Da mesma forma que o N, o P apresenta-se nas formas orgânicas e inorgânicas, em função das características do esgoto e do processo de tratamento. Porém, diferentemente do N, as formas inorgânicas do P são altamente solúveis, tendendo a concentrar-se nas fases sólidas orgânicas e inorgânicas. Quase sempre, as quantidades de P nos biofertilizantes são suficientes para suprir as necessidades das plantas quando a aplicação é efetuada com base na necessidade de N.

Para os outros macronutrientes, como o Ca, Mg e S, tem sido observado um aumento gradual na disponibilidade com a aplicação de biofertilizantes aos solos.

O biofertilizante contém, tipicamente, Cu, Mn, Zn, Mo e B, que são micronutrientes essenciais para as plantas. O fornecimento de micronutrientes por meio do biofertilizante é particularmente efetivo para elementos, tais como o ferro, devido às propriedades complexantes da matéria orgânica no biofertilizante que aumentam sua disponibilidade para as plantas. O nível de micronutrientes nos tecidos da planta, muitas vezes, aumenta quando o biofertilizante é empregado.

Os benefícios do aproveitamento do biofertilizante na agricultura também podem ser avaliados sob outra ótica. A disposição do biofertilizante sem tratamento ou parcialmente tratado, no meio ambiente, pode causar problemas de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, assim como do solo. O uso planejado do biofertilizante na agricultura evita esses problemas e reduz o dano resultante.

Em síntese, os maiores benefícios dessa forma de aproveitamento, quando adequadamente planejada e administrada, são os associados aos aspectos: a) econômicos - custo elevado de fertilizantes, sistemas de disposição de biofertilizante e aumento da produtividade agrícola; b) ambientais - conservação do solo pelo aumento da resistência à erosão e conservação das fontes naturais de fósforo; c) saúde pública - principalmente em países em desenvolvimento, contribui para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais das populações associadas aos esquemas de aproveitamento (REBOUÇAS et al., 1999).

3.4.2 -Riscos de poluição

O biossólido contém uma larga diversidade de organismos patogênicos e componentes químicos tóxicos que podem apresentar riscos à saúde humana e animal, assim como prejudicar o crescimento das plantas. Os principais riscos de interesse são organismos patogênicos, metais pesados e compostos químicos orgânicos tóxicos, esses últimos quando os esgotos domésticos recebem, também, efluentes industriais e/ou agrícolas.

3.4.2.1 – Componentes químicos tóxicos

Metais pesados, particularmente, Cd, Hg, Pb, Zn, Mo e Ni, estão, geralmente, presentes no biossólido. Eles acumulam-se no ambiente e, conseqüentemente, representam um sério problema de poluição de longo-termo. Similarmente, uma grande variedade de compostos químicos orgânicos presentes no biossólido são xenobióticos e resistem à degradação ambiental. A presença de níveis excessivos de qualquer desses componentes tóxicos pode restringir os níveis de aplicação de biossólido em solos agrícolas (KORENTAJER, 1991)..

A taxa de aplicação do biossólido é, geralmente, determinada pelo N necessário para as plantas; se as taxas de aplicação forem muito altas, o excesso de $\text{NO}_3\text{-N}$ acumula-se no solo e, conseqüentemente, pode alcançar o aquífero subterrâneo ou pode acumular-se nas plantas. Altos níveis de nitrato são tóxicos, e podem causar o desenvolvimento de metaemoglobinemia em crianças. Diferentemente dos metais pesados e orgânicos tóxicos, o NO_3 não é absorvido pelos constituintes do solo, podendo lixiviar para uma zona abaixo das raízes. Isso é um problema particularmente sério em áreas onde o aquífero subterrâneo é superficial, no qual o NO_3 lixiviado pode resultar na contaminação do aquífero.

Os compostos orgânicos tóxicos mais comuns encontrados no biossólido são pesticidas, bifenis policlorados (PCBs), alifáticos halogenados, éters, ésters, aromáticos monocíclicos, fenóis, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) e nitrosaminas. Geralmente, a concentração da maioria desses compostos não excede 10 mg/kg (massa seca), embora elevados níveis de compostos específicos sejam

possíveis onde uma indústria esteja lançando um composto específico na rede de esgoto (KORENTAJER, 1991).

Os riscos à saúde apresentados pelos compostos orgânicos tóxicos no biossólido dependem, em grande parte, da extensão com que esses compostos são modificados e atenuados pela introdução no solo. Após a aplicação agrícola, o destino desses compostos é controlado por vários processos físicos, químicos e biológicos. Estes incluem processos como a volatilização, fotodecomposição, decomposição microbiológica, adsorção, lixiviação para o aquífero subterrâneo e o escoamento superficial. Devido à complexidade das interações físicas, químicas e biológicas entre os compostos tóxicos orgânicos e os constituintes do solo, é difícil generalizar sobre a velocidade e a extensão das transformações desses compostos no meio ambiente.

Uma investigação, realizada pela US EPA (1985), indica que os compostos orgânicos tóxicos não representam uma ameaça para a biota do solo, plantas e animais, embora orgânicos tóxicos possam acumular-se no solo, como evidencia um estudo conduzido na Alemanha, no qual, devido à aplicação por longo tempo de biossólido no solo, o nível de compostos orgânicos tóxicos no solo excedeu o nível no biossólido por um fator de 5 a 15 (STRAUCH, 1989).

Em geral, as reações metal-solo são bem conhecidas. Há, entretanto, consideráveis incertezas sobre os fatores que controlam o aumento de metais em plantas e os problemas associados à transmissão para o homem e animais. Os metais pesados tóxicos, em particular, Cd, Cu, Mo, Zn, Co, Ni, Pb e Cr, estão, freqüentemente, presentes em alta concentração no biossólido. Metais pesados podem ser transmitidos na cadeia alimentar, e, devido à sua alta toxicidade, representam uma ameaça para as plantas cultivadas e um risco para o homem e animais. Em particular o Cd, devido à sua alta mobilidade no solo, é considerado como sendo o elemento que, provavelmente, limita a aplicação de biossólido no solo. Outros metais pesados limitantes são o Zn, Ni e Cu, devido à sua fitotoxicidade, e o Mo devido à sua toxicidade ao gado. Com relação aos riscos da transmissão de metais pesados para a cadeia alimentar, fatores fitológicos e ambientais podem prevenir seu acúmulo nos tecidos dos vegetais em níveis que podem ser perigosos para o homem e animais. Essa barreira solo-plantas aplica-se aos elementos Zn, V, Fe,

Cr, Ni, Pb, B e As, mas falha no caso de Cd, Co e Mo, que podem acumular-se em níveis tóxicos nos tecidos das plantas.

Na Tabela 7, são mostradas as origens, os riscos e as concentrações medianas de metais pesados no bio sólido.

Tabela 7 - Origens, riscos e concentrações de metais pesados em bio sólido

Componentes	Origem	Riscos	Concentrações Medianas mg/kg na base seca
Arsênio	Em geral é derivado do uso em aditivos para amalgamas, baterias, revestimento de cabos, caldeiras e semicondutores	Carcinogênico e mutagênico; em longo tempo de contato pode causar fadiga, perda de energia e dermatites	10
Cádmio	É usado na indústria de galvanoplastia e manufatura de pigmentos	Tóxico por ingestão ou inalação de poeira ou fumo; é considerado carcinogênico; componentes solúveis de cádmio são altamente tóxicos; em longo tempo de contato pode causar acúmulo no fígado, rim, pâncreas e tireóide e suspeitas de efeitos de hipertensão	10
Cobre	É originado principalmente do esgoto da indústria de galvanoplastia	Em quantidades excessivas restringem o crescimento de raízes e produzem múltiplas ramificações dilatadas de raízes	800
Chumbo	No lodo é derivado da manufatura de baterias e de aditivos de petróleo	Tóxico por ingestão ou inalação de poeira ou fumo; em longo tempo de contato pode causar danos ao cérebro e rim, e defeitos em recém nascidos	500
Mercúrio	Origem principal nas indústrias fabricantes de medicamentos	É altamente tóxico para animais e humanos, mas pouco conhecido sobre seu comportamento no solo; é absorvido pelas plantas, mas permanece concentrado principalmente nas raízes, não sendo comum nas partes aéreas das plantas; em animais e seres humanos pode ser absorvido pela pele, ingestão ou inalação de fumo ou vapor; em longo tempo de contato pode causar danos para o sistema central e defeitos em recém nascidos	6
Molibdênio	–	Não é tóxico às plantas e somente quando concentrações em pastagens excedem 3mg/kg de pasto que é possível ocorrer sintomas de deficiência de cobre no gado	4

Tabela 7 (Continuação) - Origens, riscos e concentrações de metais pesados em biossólido

Componentes	Origem	Riscos	Concentrações Medianas mg/kg na base seca
Cromo	Geralmente é derivado do esgoto industrial, galvanoplastia e curtumes	Carcinogênico e corrosivo aos tecidos, a longa exposição causa sensibilidade na pele e prejuízo para o rim	500
Níquel	Geralmente é derivado do esgoto industrial (indústrias químicas e de galvanoplastia)	É tóxico às plantas; em excesso produz listas longitudinais em aveia, quase completando clorose na região entre nervuras das folhas; não é muito tóxico para animais	80
Selênio	Utilizado em câmeras de TV, células fotoelétricas, placas xerográficas, baterias solares, catalisadores, elemento traço na alimentação de animais, pigmentos usados na cerâmica e na produção de borracha	Em longo tempo de contato pode causar avermelhamento dos dedos, dentes e cabelo, além de fraqueza, depressão e irritação do nariz e boca	5
Zinco	No lodo é derivado de esgoto doméstico e industrial nas indústrias como galvanoplastia, produção de cosméticos, borracha e farmacêutica	Seu excesso pode causar clorose e formação de plantas anãs; não há nenhum registro de animais afetados	1700

Fonte: MALTA (2002).

O pH do solo é o principal fator que controla a mobilidade dos metais pesados no solo e sua disponibilidade para as plantas. Para as espécies catiônicas (Cd^{+2} , Cu^{+2} , Ni^{+2} e Zn^{+2}), a disponibilidade tende a diminuir com o aumento do pH, visto que as fases insolúveis desses metais são mais estáveis em pH mais alto. O efeito do pH nem sempre é aparente, porque há efeitos mascarantes de fatores, tais como complexação com constituintes orgânicos do solo e lenta velocidade de reação, as quais são também dependentes do pH. Contudo, uma regra geral é que os solos devem ser limitados em pH 6,5 para reduzir a disponibilidade de metais. Para elementos que existem primariamente na forma aniônica no biossólido (Mo, As e Se), a disponibilidade deve, teoricamente, ser aumentada com a diminuição do pH.

Um risco adicional do biossólido é a ameaça de contaminação das águas superficiais com nutrientes e metais pesados. Estudos têm demonstrado que o escoamento superficial e os sedimentos erodidos do solo de áreas tratadas com biossólido podem conter quantidades excessivas de fosfato, nitratos e metais tóxicos.

3.4.2.2 - Patógenos

Os patógenos mais comuns presentes no biossólido são bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Os possíveis problemas de poluição biológica pelo biossólido são: a contaminação das águas superficiais e dos aquíferos subterrâneos por patógenos transportados pelo escoamento superficial, percolação da água, aderência do biossólido às plantas e ingestão direta de biossólido pelos animais de pasto.

O meio ambiente tem um efeito atenuante na densidade de organismos patógenos, sendo que o tempo de sobrevivência deles varia, de acordo com: a capacidade de sobrevivência do próprio organismo, a textura do solo, a incidência de luz solar e a temperatura ambiente. A Tabela 8 sintetiza o tempo de sobrevivência no solo e em plantas dos quatro tipos de organismos patogênicos presentes no biossólido.

Tabela 8 – Tempo de sobrevivência de patógenos no solo e na superfície de plantas

Patógenos	Solo	Plantas
Bactérias	2 meses – 1 ano	1 mês – 6 meses
Vírus	3 meses – 1 ano	1 mês – 2 meses
Cistos de protozoários	2 dias – 10 dias	2 dias – 5 dias
Ovos de helmintos	2 anos – 7 anos	1 mês – 5 meses

Fonte: KOWAL (1985).

Como se pode observar os cistos de protozoários são rapidamente mortos quando submetidos às condições ambientais, e os helmintos são os patógenos que mais tempo sobrevivem quando submetidos ao estresse ambiental, podendo sobreviver até 7 anos no solo.

O conhecimento dos padrões de sobrevivência dos agentes patógenos aliado ao conhecimento da presença/eliminação dos patógenos durante o tratamento de esgotos permite avaliar, até certo ponto, o risco de propagação de doenças transmissíveis pela aplicação de biossólidos em solo agrícola. Esse método acentua, sobretudo, os critérios microbiológicos, em que somente a eliminação dos microrganismos patógenos pode garantir a ausência de “riscos potenciais”; porém a sua aplicação não leva em conta o conceito epidemiológico de “risco real” ou “atribuível” quando se acredita que haja um risco potencial, por exemplo, que se manifeste uma enfermidade, quando se detectam microrganismos patógenos no esgoto e nos cultivos, porém não se detectam casos causados pelos mesmos. Isso oferece um contraste com o conceito de risco epidemiológico, que se concentra nas possibilidades que tem uma pessoa de sofrer uma dada doença (ou uma mudança no seu estado de saúde) em um período determinado, à vista de certa exposição (OMS, 1989).

Baseado no conceito de risco epidemiológico, pode-se afirmar que alguns patógenos apresentam maiores riscos de transmissão de certas doenças do que outros. Essas características estão associadas com aspectos de transmissão da doença e fatores do hospedeiro. No caso das doenças transmitidas pelo aproveitamento agrícola do esgoto, estes constituem longa persistência no ambiente; longo período de latência; baixa dose infectiva; fraca imunidade do hospedeiro; transmissão mínima por meio de outras vias, tais como alimentos, água ou contato pessoal; e maus hábitos de higiene pessoal ou doméstica (OMS, 1989).

O conhecimentos desses fatores com relação aos principais grupos de patógenos presentes no biossólido, bem como das principais vias paralelas de infecção para cada grupo, é mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Fatores básicos de transmissão de doenças para os grupos de patógenos associados com o aproveitamento do esgoto na agricultura.

Patógenos	Persistência	Latência	Dose infectiva	Imunidade	Principais vias paralelas de infecção	Estágios no solo
helmintos	longa	longa	baixa	nenhuma ou pouca	solo, plantas	sim
protozoários	curta	zero	baixa-média	nenhuma ou pouca	contato pessoal, alimentos, água	não
bactérias	curta-média	zero	média-alta	curta a média	contato pessoal, alimentos, água	não
vírus	média	zero	baixa	longa	contato pessoal, alimentos, água	não

Fonte: HELMER et al. (1991).

A análise das informações, contidas na Tabela 9, indica que os helmintos apresentam os maiores riscos de transmissão de doenças relacionadas ao aproveitamento do esgoto na agricultura, devido ao longo período de latência no solo, à longa persistência no ambiente, a uma baixa dose infectiva, à, praticamente, nenhuma imunidade do hospedeiro e à possibilidade de infecção simultânea no lar.

Por outro lado, os vírus entéricos apresentam o menor risco, principalmente, devido à imunidade fornecida após se contrair a infecção nos primeiros anos de vida, por meio de vias paralelas em lares onde maus hábitos de higiene prevalecem. Os riscos de infecção por protozoários e bactérias estão entre os helmintos e os vírus.

A validade desse modelo de risco teórico associado ao aproveitamento do esgoto na agricultura foi confirmada em estudos epidemiológicos pela OMS (1989), que estabeleceu os critérios básicos para a proteção dos grupos de risco, associados a esquemas de aproveitamento agrícola, e recomendou as diretrizes mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 - Diretrizes microbiológicas recomendadas para o uso de esgotos na agricultura.

Condições de aproveitamento	Grupos de risco	Nematodos intestinais (a) (Nº ovos/litro)	Coliformes fecais (Nº/100ml)(b)
Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos	Operários, consumidores, público	≤1	≤1.000(c)
Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores	operários	≤1	Não aplicável(d)

(a) *Ascaris, trichuris, Necator americans e Ancilostomus duodenalis*.

(b) Durante o período de irrigação.

(c) Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100ml) e apropriado para gramados públicos, tais como hotéis, com os quais o público tenha contato direto.

(d) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e os frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada.

Fonte: OMS (1989).

Ao fixar a diretriz bacteriológica da média geométrica de 1000 coliformes fecais/100ml no esgoto, para irrigação sem restrições em todos os tipos de cultivo agrícolas, o grupo científico da Organização Mundial de Saúde baseou-se, principalmente, no fato de que não é razoável ou racional manter a diretriz histórica de coliformes fecais no esgoto, que era de um nível próximo ao da água potável, na época em que as águas dos rios e do mar eram usadas para natação. São consideradas aceitáveis pelas autoridades de saúde pública águas com concentrações de coliformes fecais de 1000/100ml. Por outro lado, o principal risco real à saúde, em muitos países em desenvolvimento, são os associados às doenças helmínticas. O uso seguro de esgotos na agricultura requer um alto grau de remoção de helmintos. Por conseguinte, a nova diretriz representa um avanço ao considerar a necessidade de reduzir os ovos de helmintos no esgoto para aproveitamento agrícola em um nível de, pelo menos, 1 ou menos por litro (HELMER et al., 1991)

Segundo HESPANHOL (2003), os esgotos brutos gerados no Brasil são caracterizados por elevadas concentrações de ovos de helmintos; o que, geralmente, não ocorre em países desenvolvidos, como os da Europa ou da América do Norte. Na

Tabela 11, são mostrados resultados de exames parasitológicos de pacientes no estado de Minas Gerais.

Tabela 11 - Resultados de exames parasitológicos de fezes de 2500 pacientes de Belo Horizonte e zonas rurais.

Helmintos	Pacientes infectados	Porcentagem
<i>Ascaris lumbricoides</i>	489	19,6
<i>Necator americanus</i>	366	14,6
<i>Trichuris trichiura</i>	513	20,5
<i>Strongyloides stercoralis</i>	217	8,7
<i>Enterobius vermicularis</i>	73	2,9
<i>Taenia, sp.</i>	23	0,9
<i>Hymenolepis nana</i>	1	0,04
<i>Shistosoma mansoni</i>	100	4,0
Protozoários		
<i>Entamoeba histolytica</i>	259	10,4
<i>Entamoeba coli</i>	621	24,8
<i>Endolimax nana</i>	58	2,3
<i>Iodamoeba butschlii</i>	11	0,4
<i>Giardia intestinalis</i>	251	10,0
<i>Chilomastix mesnili</i>	156	6,2
<i>Trichomonas hominis</i>	36	1,4
<i>Balantidium coli</i>	4	0,16

Fonte: PESSOA; MARTINS (1982).

Segundo HESPANHOL (2003, p.98) o estabelecimento de um valor diretriz, associado a ovos de helmintos, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de um valor padrão que reflita, verdadeiramente, condições nacionais, constitui tema que merece análise mais profunda. A mesma consideração pode ser feita com relação aos coliformes fecais.

Nesse sentido, propõe-se associar às diretrizes propostas para irrigação irrestrita com esgotos ($\leq$ ovo/l, média aritmética e $\leq$ 1.000 coliformes fecais/100 ml, média geométrica dos NMP, efetuadas durante os períodos em que ocorrem irrigação) diretrizes equivalentes, para a aplicação de biossólidos em solos agrícolas HESPANHOL, 2003.

Diretrizes para ovos de helmintos

Sendo a taxa de aplicação de esgotos igual a:

$$T_E = (m / ano) \quad (1)$$

A taxa de aplicação de helmintos, T_H , será expressa por:

$$T_H \leq 1(ovo/l).T_E = (m/ano) \quad (2)$$

Ou,

$$T_H \leq 1(ovo/l).T_E = (m/ano).(m^2/m^2).(10^3 l/m^3) \quad (3)$$

Ou ainda,

$$T_H \leq 110^7.T_E (ovo/hectare.ano) \quad (4)$$

Sendo a concentração de ovos de helmintos por grama de bio sólido, base seca, expressa por:

$$Co = (ovo/g_{BS}) \quad (5)$$

A taxa de aplicação de bio sólidos, T_{BH} equivalente à diretriz para helmintos apresentada para esgotos, será dada por:

$$T_{BH} \leq T_H / Co \quad (6)$$

Substituindo-se a equação (4) na equação (6), tem-se que:

$$T_{BH} \leq 107 T_E / Co (ovo/hectare.ano) / (ovo/g_{BS}) \quad (7)$$

E finalmente:

$$T_{BH} \leq 10 T_E / Co (ton_{BS}/hectare.ano) \quad (8)$$

Os valores de T_E utilizados em zonas áridas e semi-áridas (onde é mais provável que ocorra a aplicação de esgotos), relacionados na literatura, variam entre 1,2 m/ano e 2,0 m/ano. Para essa análise e com a intenção de permanecer no lado seguro em relação à aplicação de helmintos em solos agrícolas, assumir-se-à $T_E = 2$ m/ano; o que equivale a uma taxa de irrigação de 20.000 m³/hectare/ano ou 0,63 l/s/hectare. A equação (8) assume, então, a seguinte forma:

$$T_{BH} \leq 20 / Co (ton_{BS}/hectare.ano) \quad (9)$$

Para outros valores de T_E , essa equação fornece a taxa de aplicação em termos de toneladas de bio sólidos, base seca, por hectare e por ano, em virtude da concentração de helmintos por grama de bio sólidos, base seca equação (5).

Diretriz para coliformes fecais

A taxa de aplicação de coliformes fecais (CF), T_c , será expressa por:

$$T_c \leq 1000 \cdot (CF/100ml) \cdot T_E (m/ano) \quad (10)$$

Ou,

$$T_c \leq 1000 \cdot (CF/100ml) \cdot T_E (m/ano) \cdot (m^2/m^2) \cdot (10^6 ml/m^3) \quad (11)$$

Ou, ainda:

$$T_c \leq 10^{11} \cdot T_E (CF/hectare.ano) \quad (12)$$

Sendo a concentração de coliformes fecais, por grama de bio sólido, base seca, expressa por:

$$C_c = (CF/g_{BS}) \quad (13)$$

A taxa de aplicação de bio sólidos, T_{BC} , equivalente à diretriz para coliformes apresentada para esgotos será dada por:

$$T_{BC} \leq T_c / C_c \quad (14)$$

Substituindo-se a equação (12) na equação (14), tem-se:

$$T_{BC} \leq 10^{11} \cdot T_E / C_c (CF/hectare.ano) / (CF/g_{BS}) \quad (15)$$

E, finalmente:

$$T_{BC} \leq 10^5 \cdot T_E / C_c (ton_{BS}/hectare.ano) \quad (16)$$

Assumindo-se, como para helmintos $T_E = 2$ m/ano, a equação (16) fica:

$$T_{BC} \leq 2 \cdot 10^5 \cdot T_E / C_c (ton_{BS}/hectare.ano) \quad (17)$$

Para outros valores de T_E , a equação (16) fornece a taxa de aplicação em termos de toneladas de bio sólidos, base seca, por hectare e por ano, em virtude da concentração de coliformes fecais, expressa em NMP por grama de bio sólidos, base seca.

O controle de doenças depende da quebra do ciclo de infecção em um ponto vulnerável pela introdução de práticas operacionais aceitáveis no tratamento do bio sólido, no armazenamento e na agricultura, permitindo, assim, o decréscimo de patógenos ou a possibilidade de torná-los dispersos antes que qualquer contato possa ocorrer com animais. A quebra total do ciclo de infecção é obtida quando o

biossólido é 100% desinfetado ou disposto em situações em que nenhum contato com homens ou animais ocorre.

O controle de doenças é intrinsecamente relacionado aos custos para realizá-lo e o que pode ser proporcionado. Tais problemas são identificados por LUND (1980), no WORKING PARTY 3 e no EUROPEAN COMMUNITY COST 68 bis Concertation Committee, e são citados abaixo:

Economicamente e sob o aspecto prático, um nível de risco zero não pode ser obtido, embora possa ser tecnologicamente possível.

Definições de níveis de tratamento do biossólido que podem fornecer segurança razoável não são fáceis de ser obtidos e eles não podem ser expressos em termos absolutos, mas são expressos dependendo de numerosos fatores econômicos, políticos e geográficos. Em situações onde provavelmente metade do biossólido produzido é aplicado no solo, legalmente ou ilegalmente, a WORKING PARTY tem encontrado ser importante pesquisar a situação e fazer sugestões de modo que alguns procedimentos obviamente não seguros possam ser omitidos, tendo em mente, que se também regras restritas são sugeridas, elas podem tornar totalmente impossível colocar o biossólido em solo agrícola.

Os riscos, para a saúde humana e para animais, de patógenos contidos no biossólido, aplicados no solo, e as medidas de controle foram consideradas pela WHO (1981). Em particular, dois patógenos são mencionados, especialmente, a *Salmonella* sorotipo, responsável pela comida envenenada no homem e em condições associadas na comida animal, e a tênia do bife, *Taenia saginata*, cisticerco bovino.

O grupo de trabalho era especificamente interessado nos efeitos do uso agrícola do biossólido na saúde humana, em que doenças em animais podem ser um elo no ciclo de infecção. Com salmonela, eles são incapazes de apontar qualquer evidência epidemiológica de que os riscos para a saúde humana são aumentados pelo uso do biossólido no solo, embora alguma evidência era disponível de que bovinos expostos ao biossólido contendo salmonela podem tornar-se veículos, necessitando um maior controle.

Por outro lado, *Taenia saginata* é um parasita específico do homem, e os ovos expulsos nas fezes humanas, especificamente, infectam bovinos; então, a evidência biológica do organismo aponta o biossólido como o principal vetor. O grupo de

trabalho considerou que os riscos para a saúde humana de outros patógenos eram menores, embora notasse a existência de riscos de vírus e sarcocistise

Essas duas doenças têm sido reconhecidas pela DOE/NWC (1981), que recomenda medidas operacionais para controle da difusão de doenças pelo bio-sólido.

Salmonelose

É uma doença muito difundida em humanos e na comida de animais. Na Bretanha, há notificação oficial de casos humanos e eclosão de epidemias tem ocorrido por muitos anos. Em 1980, 10.856 casos, na Inglaterra e na Gália, foram notificados pelo Centro de Vigilância de Doenças, e, os veículos da infecção foram registrados (84/439): peru (36%), frango (24%), carne bovina, carne de porco, presunto (24%) e leite (9%); (CDSC, 1981).

Aves domésticas, carnes e produtos do leite são as principais fontes, e a conclusão global é que a doença no homem pode ser bem controlada pela higiene na comida.

Na comida animal; a doença tem sido notificada na Grã-Bretanha desde 1975. Em anos recentes, cerca de 300 a 3500 eclosões têm sido reportadas anualmente na Inglaterra, Gália e Escócia, e, em 1979, foram 3.304 eclosões que envolveram 1435 bovinos (MAFF, 1981)

Os ciclos de infecção na agricultura, e aqueles que envolvem o homem são complicados, e têm sido pesquisados em relação à disposição do bio-sólido.

Segundo BURNETT et al. (1980), na Bretanha, com exceção da Escócia, não tem ocorrido nenhuma eclosão de salmonela em comida animal, em que o bio-sólido tenha sido discriminado especificamente. Por outro lado, significantes e evidentes publicações para o bio-sólido estão disponíveis nos Países Baixos, na Alemanha e na Suíça, e, na Bretanha, para esgotos brutos e resíduos de fossas sépticas contaminantes de pastagens.

Taenia Saginata e a Cisticercose em Bovinos

Este parasita tem dois hospedeiros, o homem, que hospeda o verme adulto, e o bovino, que ingerindo as fezes de indivíduos infectados, torna-se infectado, desenvolvendo o parasita até o estágio de larva, a cisticercose bovina. Os cistos que infectam o homem, completando seu ciclo, são mortos se a carne bovina for devidamente cozida.

As carcaças infectadas são, normalmente, detectadas na inspeção da carne e são congeladas para matar os cistos ou, no caso de carcaças muito infectadas, são condenadas.

O parasita não é comum no homem, e somente 80 casos anuais são reportados pelo Serviço de Saúde Pública da Inglaterra. A verdadeira incidência no homem é maior do que isso. Em bovinos, a incidência de carcaças infectadas tem permanecido estática desde 1969, com cerca de 0,0018% de carcaças sendo condenadas e 0,041% de carcaças depreciadas na Inglaterra (BLAMIRE et al., 1980).

Como a maioria das carcaças infectadas é ligeiramente infectada e a inspeção da carne precisa ser rápida e não se deve destruir a carne, é inevitável que a real incidência de cisticercose seja maior do que a apresentada.

Embora a disposição do bio-sólido em pastagens, antes de os ovos terem tornado-se não infectivos, seja, evidentemente, por considerações biológicas, a principal via de transmissão, outras vias têm sido propostas. Estas incluem a defecação por motoristas próximo a acostamentos, e a transmissão por pássaros que se alimentam dos detritos do bio-sólido.

Um estudo retrospectivo de eclosões da epidemia na Escócia tem mostrado que somente 14 das 128 eclosões (7%) eram fazendas que usavam bio-sólido no solo, e o modelo geográfico de eclosões tende a ser a principal via (PIKE; DAVIS, 1984).

3.5 – NECESSIDADE DE TRATAMENTO FACE À LEGISLAÇÃO

3.5.1 - Regulamentos nacionais

Ainda não existe um regulamento nacional para a aplicação de biossólido em áreas agrícolas. No estado de São Paulo, o estabelecimento de procedimentos e critérios para o uso de resíduos em áreas agrícolas, por meio de um manual técnico, teve início em 1996, e contou com a colaboração de diversas entidades. Na discussão dos aspectos e exigências ambientais relacionadas a essa aplicação, foi estudada, em uma primeira etapa, a utilização de biossólidos de sistemas de tratamento biológicos de despejos líquidos sanitários e industriais, devido ao crescente interesse em tal uso no estado de São Paulo, decorrente das ampliações e melhorias dos sistemas de tratamento.

Conforme definição adotada pela CETESB, os biossólidos oriundos de sistemas de tratamento de esgoto que atendam aos critérios estabelecidos pelo Órgão de Controle Ambiental para sua utilização segura na agricultura serão denominados biossólidos.

Em 1999, foi concluído o projeto de norma intitulado “Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação – P4230” (CETESB, 1999). O regulamento trata de critérios para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de biossólidos, visando ao atendimento das exigências ambientais. Seguem, basicamente, as regras do regulamento norte americano Código Federal 40CFR, Part 503.

A Norma P4230 da CETESB e o Código Federal 40CFR, Part 503, classificam os biossólidos, em relação à presença e quantidade de organismos patogênicos em seu meio, com a denominação de biossólidos classes A e B. O biossólido classe A é resultante de um processo capaz de obter a redução adicional de patógenos; e o classe B é resultante de um processo capaz de obter uma significativa redução de patógenos. Para a aplicação em áreas agrícolas, os biossólidos devem ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores.

Um biossólido, para ser classificado como classe A, deverá apresentar, no momento de ser disposto no solo:

- número de coliformes fecais inferior a 1000NMP/g (número mais provável por grama de sólidos totais); e / ou
- *Salmonella* sp., densidade inferior a 3 NMO/g (número mais provável por 4 gramas de sólidos totais).

A Norma P4230 preconiza *coliformes* e *Salmonella* sp., já o regulamento EPA 40 – 403, apenas coliformes.

Para o biossólido ser classificado como Classe A, o processo de tratamento, denominado redução adicional de patógenos, deve ser aprovado pelo órgão ambiental, conforme determina a Norma CETESB P4230 e U.S.EPA (40 CFR, Part 503).

Os processos de tratamento, aceitos pelo órgão ambiental como adequados para a redução adicional de patógenos, são os mesmos já listados para a legislação norte americana. A norma descreve, ainda, os critérios para aprovação de novos processos de tratamento para redução adicional de patógenos. A Tabela 12 mostra os indicadores e as densidades exigidas.

Tabela 12 - Indicadores e densidades exigidas para verificação de processos de redução adicional de patógenos

Indicador	Densidade mínima antes do tratamento	Densidade máxima após o tratamento
Vírus entéricos	> 1 unidade formadora de placa por 4 gramas de sólidos totais (base seca)	< 1 unidade formadora de placa por 4 gramas de sólidos totais (base seca)
Ovos viáveis de helmintos	> 1 por 4 gramas de sólidos totais (base seca)	< 1 por 4 gramas de sólidos totais (base seca)
Cistos de protozoários	> 1 por 4 gramas de sólidos totais (base seca)	< 1 por 4 gramas de sólidos totais (base seca)

Fonte: CETESB (1999).

O biossólido classificado como classe B deverá apresentar no momento de sua disposição no solo:

- número de coliformes fecais inferior a 2.000.000 NMP/g ST ou 2.000.000 UFC/g ST (unidade formadora de colônias por gramas de sólidos totais).

Para a classificação de um biossólido como classe B, devem ser verificados, segundo a Norma P4230, os seguintes pontos:

- O processo adotado para o tratamento visando à redução de patógenos deve ser aceito pelo órgão de controle ambiental, ou a média geométrica de 7 amostras deve apresentar densidade inferior a 2.000.000 NMP ou UFC/g ST.

Para a caracterização química e microbiológica, a P4230 estabelece a necessidade de análise dos parâmetros relacionados na Tabela 13

Tabela 13 - Relação dos parâmetros para caracterização química e microbiológica do biossólido

Parâmetros	
Carbono orgânico	Arsênio
Fósforo	Cádmio
Nitrogênio amoniacal	Chumbo
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cobre
Nitrogênio total	Cromo total
PH	Mercúrio
Potássio	Molibdênio
Sódio	Níquel
Umidade	Selênio
NMP de Salmonella	Zinco
NMP de coliformes fecais	

Fonte: CETESB (1999).

Para a aplicação de biossólidos em áreas agrícolas, são efetuadas, ainda, as seguintes exigências:

- quanto à composição: não são aceitáveis, para a aplicação em solo agrícola, biossólidos contendo metais em concentrações superiores aos limites estabelecidos na Tabela 14 ;
- quanto à persistência da matéria orgânica: biossólidos gerados em sistemas de tratamento de despejos industriais só serão considerados adequados, para a

- aplicação no solo agrícola, se a matéria orgânica presente no mesmo apresentar eficiência de biodegradação, determinada pelo método respirométrico de Bartha;
- quanto ao tratamento: para a aplicação em áreas agrícolas, os biossólidos devem ser submetidos a processo de redução de patógenos e de atratividade de vetores, não sendo aceita a aplicação em áreas agrícolas, para biossólidos que não atendam, no mínimo, os requisitos estabelecidos para classe B.

Tabela 14 - Concentrações limites de metais no biossólido – P4230

Metal	Concentração máxima permitida mg/kg (base seca)
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercúrio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

Fonte: CETESB (1999).

Segundo BONNET et al. (2000), a norma técnica preliminar para o Estado do Paraná estabelece que o biossólido somente poderá ser utilizado na agricultura, após passar por processo de higienização, que apresente eficiência significativa na redução de patógenos, devendo ser analisado o conteúdo de *Coliformes fecais*, *Streptococos fecais*, *Salmonella sp* e ovos viáveis de helmintos.

Os limites estabelecidos de patógenos no biossólido no estado do Paraná são:

- helmintos, contagem de ovos viáveis, no máximo, 0,25 ovos/g de matéria seca;
- coliformes fecais, no máximo, 1000 NMP/ g de matéria seca.

Com relação à estabilidade do material, o teor de sólidos fixos deve ser superior a 29% em relação ao peso seco de biossólidos.

A norma fixa limites para a concentração de metais no biossólido e nos solos, de acordo com o apresentado nas Tabela 15.

Tabela 15 - Valores limites das concentrações de metais pesados em solos agrícolas e no bioossólidos no estado do Paraná

Metal	No solo Valor limite (mg/kg matéria seca)	No bioossólido Valor limite (mg/kg matéria seca)
Cádmio	1.0	20
Cobre	50.0	1000
Níquel	30.0	300
Chumbo	50.0	750
Zinco	150.0	2500
Mercúrio	1.0	16
Cromo	100.0	1000

Fonte: FERNANDES et al. (1999).

3.5.2 - Diretriz 86/278 da Comunidade Européia (CEE 86/278)

A CEE 86/278, de 12/06/86, é intitulada “Council Directive on the Protection of the Environment and in Particular of the Soil when Sewage Sludge is Used in Agriculture” (MATTHEWS, 1996). A Diretriz diz respeito à proteção do meio ambiente, e limita a concentração máxima admissível de cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco nos bioossólidos que se destinam à aplicação em solos agrícolas, e nos próprios solos receptores. Os limites não devem ser ultrapassados, salvo se o pH do solo for, permanentemente, maior do que 7. Os Estados-membros podem, a seu critério, impor limites menos (ou mais) restritivos, mas, em nenhum caso, as concentrações devem ultrapassar 50% dos valores fixados na Diretriz.

A Diretriz não fixa limites ou concentrações de microrganismos patogênicos nos bioossólidos a serem utilizados, estabelecendo, entretanto, algumas regras:

- os membros devem proibir o uso de bioossólidos em solos, nos quais serão cultivadas frutíferas, exceto para árvores;
- os bioossólidos devem ser tratados antes do uso na agricultura, podendo os membros autorizar, sob condições fixadas, a injeção no solo de bioossólidos não tratados;

- os membros devem proibir o uso de biossólidos em pastagens e em forrageiras antes de certos períodos de tempo decorrido, a serem por eles estabelecidos, levando em consideração as condições geográficas e climáticas, devendo o período, em nenhuma circunstância, ser inferior a 3 semanas;
- para as áreas onde serão cultivadas frutas e vegetais que entram em contato direto com o solo, normalmente, ingeridos crus, a colheita só pode ser efetuada decorrido um período mínimo de 10 meses após a aplicação.

3.5.3 - Legislação Norte-americana

A United States Environmental Protection Agency (USEPA) disciplinou o uso do biossólido na agricultura a partir de 19 de fevereiro de 1993. A regulamentação, abreviadamente referida como 40 CFR Part 503, significa, em seu título completo, Code of Federal Regulations Nº 40, Part 503 – “Standards of the Use and Disposal of Sewage Sludge”.

Os principais aspectos da normalização dizem respeito a padrões e práticas de gerenciamento e tratamento, visando à redução de patógenos em biossólidos em níveis aceitáveis, e redução da possibilidade de atração de vetores e transmissão dos mesmos.

Requisitos de redução de patógenos

Os biossólidos são classificados em duas categorias: biossólidos classe “A” e biossólidos classe “B”, resultantes, respectivamente, de processo capaz de redução adicional de patógenos (PFRP, Process to Further Reduce Pathogens) e de processo capaz de redução significativa de patógenos (PSRP Process to Significantly Reduce Pathogens). Pertence à classe “A” os biossólidos ensacados para venda ou distribuição gratuita, ou os aplicados em gramados e jardins residenciais; inexistem restrições para acesso público aos solos receptores de biossólido classe “A”. Os biossólidos que satisfazem a classe “B” destinam-se à aplicação em granel; os locais receptores têm acesso ao público normalizado.

As características microbiológicas limites para as duas classes, conforme a Part 503, são:

- Classe A: Coliformes fecais < 1000 NMP/g sólidos secos, ou menos do que 3 salmonellas sp. por 4 gramas de sólidos. O limite estabelecido para coliformes fecais foi fixado pelas evidências de resistência superior em comparação a outras bactérias patogênicas, como salmonellas. O valor baseia-se no experimento de YANKO (1987) apud EPA (1992), que mostrou que esse nível de concentração relaciona-se a níveis muito baixos de salmonellas em bio sólidos compostados.

-Classe B: A concentração de coliformes fecais deve ser, no máximo, 2.000.000 NMP/g de sólidos secos. Além desses requisitos, são estabelecidas restrições para a aplicação de bio sólidos classe B no solo, fixadas com base no tempo necessário à ocorrência de redução significativa de ovos de helmintos. As restrições vão de 38 meses a 20 dias, dependendo do local onde o bio sólido foi aplicado.

O regulamento apresenta seis alternativas ou processos de tratamento que devem ser empregados para o atendimento dos requisitos da classe A:

- Tratamento térmico do bio sólido: valores especificados de temperatura e tempo de contato, em função do conteúdo de sólidos do bio sólido;
- Tratamento do bio sólido em elevados valores de pH e temperatura: pH > 12 por, pelo menos, 72 horas, com a temperatura mantida acima de 52° C por, ao menos, 12 horas durante o período com pH > 12, e secagem ao ar até atingir teores acima de 50% de sólidos;
- Tratamento do bio sólido por outros processos: exigências de níveis de vírus entéricos < 1 PFU/4g sólidos secos, e de concentrações de ovos viáveis de helmintos de < ¼ g de sólidos secos, antes do tratamento, ou monitoramento da operação do processo nesses níveis após o tratamento para redução de patógenos;
- Tratamento do bio sólido por processos desconhecidos: devem ser atingidos os níveis de vírus entéricos e de ovos viáveis de helmintos acima especificados, após o tratamento e antes da distribuição;
- Utilização de processos de adicional redução de patógenos (PFRP): requisitos estabelecidos para a compostagem, secagem térmica por contato direto e indireto com gases quentes, tratamento térmico de bio sólidos líquidos, digestão aeróbia termofílica, irradiação com raios beta, irradiação com raios gama, e pasteurização;

- Utilização de processos equivalentes aos de redução adicional de patógenos: são processos alternativos recomendados, já implantados em algumas instalações, e que, comprovadamente, atingem os níveis de patógenos recomendados.

De acordo com o regulamento, há três formas distintas para o enquadramento de bioossólidos na classe B:

- A média geométrica da concentração de coliformes fecais de 7 amostras deve ser inferior a 2×10^6 NMP/g sólidos secos;
- No tratamento do bioossólido, deve ser utilizada uma das seis alternativas indicadas como Processos de Redução Significativa de Patógenos (PSRP): digestão aeróbia associando tempo e temperatura (40 dias a 20° C até 60 dias a 15°C); secagem ao ar em leitos de areia ou em áreas pavimentadas ou não, durante, no mínimo, 3 meses, com temperatura ambiente média acima de 0° C durante, pelo menos, 2 meses; digestão anaeróbia associando tempo e temperatura (15 dias entre 35 e 55°C, e, 60 dias a 20° C); compostagem do bioossólido elevando a temperatura do bioossólido acima de 40° C, assim permanecendo por 5 dias; e elevação a 55°C, durante 4 horas; adição de cal de forma a elevar o pH a 12 após 2 horas de contato;
- Utilização de processos de tratamento equivalentes aos de redução significativa de patógenos.

O limite de coliformes fecais de 2.10^6 NMP/g de sólidos secos foi estabelecido com base nos resultados obtidos por FARREL (1985) apud EPA (1992), indicando que, nesse limite, os vírus e bactérias patogênicas estão reduzidos, e que essa densidade é resultante de uma redução equivalente a 2log para coliformes fecais no tratamento, sendo esperada uma correlação com reduções de, aproximadamente, 1,5 log na densidade de *salmonellas* e de 1,3 log na de vírus entéricos.

Requisitos de Redução de Vetores

Em adição aos requisitos relativos à concentração de patógenos, devem ser cumpridos os relacionados à possibilidade de atração de vetores (insetos, roedores, pássaros). São previstas doze alternativas de processos na Part 503, objetivando reduzir a atratividade do bioossólido para os vetores. As doze alternativas referem-se, principalmente, à redução do conteúdo de sólidos voláteis e água do bioossólido.

Requisitos para o Controle de Poluentes Químicos

Na linha adotada pelo regulamento americano, as cargas de poluentes pela aplicação de bio sólidos aos solos podem ser reguladas, permitindo que os poluentes acumulem-se tanto quanto for a capacidade do solo de assimilação, atenuação e detoxificação, no sentido de minimizar os riscos para a saúde humana, para as plantas e para o meio ambiente. As premissas dessa linha é a de que vantagens podem ser auferidas das qualidades benéficas do bio sólido em termos de umidade, matéria orgânica e nutrientes, considerando o solo como um meio dinâmico, em que os poluentes acabam sofrendo transformações.

Para o estabelecimento dos limites de poluentes químicos, a EPA utilizou a metodologia de avaliação de riscos, incluindo 4 etapas: identificação do perigo; avaliação da dose-resposta; avaliação da exposição e caracterização do risco.

Os bio sólidos que se destinam a solos cultiváveis não podem possuir concentrações de metais pesados acima das concentrações-teto pré-estabelecidas na regulamentação. São fixados limites para os mesmos sete poluentes designados na diretiva europeia e, ainda, para As, o Mo e o Se.

A EPA estabeleceu as taxas cumulativas máximas para 10 elementos inorgânicos, sendo que o Cr e o Mo foram posteriormente eliminados, em 1995 e 1994, respectivamente. Essas taxas representam a quantidade máxima que cada poluente pode ser uniformemente aplicado em um hectare de solo, e, ainda, promover proteção aceitável aos indivíduos altamente expostos. Para a determinação da concentração de poluentes no bio sólido, foi assumido que o tempo de aplicação em uma determinada área seja de 100 anos, e que a taxa de aplicação anual seja igual ou menor a 10 ton/ha. Também foram estabelecidas concentrações limites máximas de cada poluente no bio sólido, uma vez que a regra geral determina que qualquer bio sólido pode ser aplicado aos solos, desde que não seja atingida a carga cumulativa de poluente. Foram ainda estabelecidas as taxas máximas anuais de aplicação, calculadas considerando-se que as taxas cumulativas seriam atingidas em 20 anos. Nas Tabelas 16 e 17, são apresentadas as taxas cumulativas de aplicação de poluentes, as concentrações limites, as concentrações de poluentes e taxas anuais de aplicação de poluentes.

Tabela 16 - Taxas cumulativas de aplicação de poluentes

Poluente	Taxas Cumulativas de Aplicação de Poluentes
	(kg/ha)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cromo (1)	3000
Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Molibdênio (1)	18
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

(1) Poluentes excluídos da lista, em revisões de 1994 e 1995.

Fonte: NRC (1996).

Tabela 17 - Concentrações limites, concentrações de poluentes e taxas anuais de aplicação de poluentes.

Poluente	Concentração limite máxima (mg/kg sólido seco)	Concentração limite – biossólidos de excepcional qualidade (mg/kg sólido seco)	Taxa anual de aplicação de poluentes (kg/ha/ano)
Arsênio	75	41	2.0
Cádmio	85	38	1.9
Cromo (1)	3000	1200	150.0
Cobre	4300	1500	75.0
Chumbo	840	300	15.0
Mercúrio	57	17	0.85
Molibdênio (1)	75	18	0.90
Níquel	420	420	21.0
Selênio (2)	100	36	5.0
Zinco	7500	2800	140.0

(1) Poluentes excluídos da lista, em revisões de 1994 e 1995, exceto para a concentração limite máxima.

(2) Os limites para selênio têm sido objeto de revisão.

Fonte: NRC (1996)

3.6 – HELMINTOS

Os helmintos de interesse sanitário são divididos em duas classes principais: vermes de secção circular – *nematóides* - e vermes de secção achatada. Estes últimos subdividem-se em dois grupos: *cestóides*, que possuem o corpo segmentado, e *trematódeos*, que apresentam o corpo achatado, mas não segmentado. Exemplos dessas categorias são:

- nematóides: *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Enterobius vermicularis*, *Strongyloides stercoralis*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*, *Toxocara canis* e *Toxocara cati*;
- cestóides: *Taenia saginata*, *Taenia solium*, *Diphyllobothrium latum* e *Hymenolepis nana*;
- trematódeos: *Schistosoma spp.*

3.6.1 - Nematóides

A ascaridíase é uma infecção de particular importância nos programas de saneamento, por ser extremamente comum em diversas partes do mundo. Outra razão deve-se ao fato de os ovos de *Ascaris* serem muito persistentes no meio ambiente, capazes de sobreviver até sete anos no solo, sendo de difícil eliminação em processos de tratamento.

As fêmeas de *Ascaris lumbricoides* têm entre 200 e 400mm de comprimento, enquanto os machos medem de 150 a 300mm. Os ovos férteis têm formato ovóide e medem de 45 a 70 micrômetros por 35 a 50 micrômetros.

As fêmeas põem até 2.10^4 ovos por dia, sendo cerca de 15%, normalmente, inférteis. Sob condições ideais de umidade do solo, sombreamento e temperatura adequada, um período de tempo mínimo entre 10 e 15 dias é necessário para que cerca de 75% dos ovos frescos se tornem infectivos. Quando os ovos são ingeridos pelas mãos, por alimentos, utensílios ou pela poeira, as larvas eclodem no duodeno e são levadas pelos vasos linfáticos e sangüíneos, através do fígado e do coração, até os pulmões; as larvas penetram as passagens e atingem a traquéia, onde, engolidas, passam pelo esôfago e chegam ao intestino fino. Desenvolvem-se, então, em vermes adultos por

cerca de 60 a 75 dias, e vivem por até 1,5 anos. Grandes infestações causam distúrbios alimentares, do sono e vômitos. *Ascaris* pode, ocasionalmente, infectar o fígado e o apêndice, onde manifestam-se sintomas mais severos, que podem levar ao óbito do hospedeiro. As rotas consideradas principais na transmissão do *Ascaris* são terrenos contaminados por fezes, especialmente de crianças, locais onde esgotos ou biossólidos são usados como fertilizantes, e consumo de vegetais que tenham crescido em campos onde esgotos ou biossólidos foram aplicados. A transmissão pela água é possível, mas tem importância menor.

Os ovos de *Ascaris* são expulsos no meio externo, ainda não embrionados; apresentando uma única célula envolvida por espessa casca de duplo contorno, sobre a qual se aplica uma membrana albuminosa mamilonada, característica do ovo de *Ascaris*. Devido à sua casca, os ovos apresentam alta resistência contra ataques químicos, mecânicos e térmicos.

Há algumas controvérsias sobre o número de camadas na casca dos ovos de *Ascaris*, mas, sem dúvida, no mínimo três estão presentes. Segundo BOCHERT (1970) apud BERG (1978), a casca do ovo constitui-se de três camadas. A primeira, mais externa, é uma camada albuminosa de amina-glicose, apresenta coloração amarronzada, devido à bile contida nos excrementos. Devido às suas características pastosa e grudenta, possui capacidade de fixação e proteção contra a falta de umidade. Ela tem cerca de 0,6 μm na parte mais grossa, e é composta de, aproximadamente, 75% de lipídios e 25% de proteínas. A camada do meio tem cerca de 1 μm de espessura e é uma mistura de quitina e proteína. Em biologia material, a função da quitina parece ser análoga a das vigas de aço em concreto reforçado ou dos filamentos em rede nas estruturas de fibra de vidro. A parte externa ou camada vitelina é, provavelmente, composta de proteína, sendo permeável somente ao oxigênio e a materiais solúveis em lipídios, como: éter, álcool e clorofórmio (CROMPTON, 1980).

A resistência dos ovos de *Ascaris* aos agentes químicos é, em geral, muito elevada. Geralmente, acredita-se que a resistência dos ovos de *Ascaris* às substâncias químicas é dada pela casca albuminosa externa, porém esta crença é errônea, pois se esta exerce proteção ao ovo contra a penetração de substâncias tóxicas, o papel sensível nessa impermeabilidade é dado pela membrana vitelina interna. O ovo

conserva-se vivo sempre que essa membrana estiver íntegra, morrendo instantaneamente se ela for lesada.

Ascaris suum é característico de suínos, e pode infectar o homem até o estágio de desenvolvimento, caracterizado pela síndrome de Loeffler, mas, provavelmente, não completa o ciclo no homem.

A tricuriase, causada pelo *Trichuris trichiura*, é, normalmente, estudada em conjunto com a ascaridíase, uma vez que ambas são usualmente endêmicas nas mesmas comunidades, e possuem ciclos de vida, modos de transmissão e epidemiologias similares. A transmissão ocorre por meio da ingestão da forma infectante, após o amadurecimento, em ambientes úmidos e quentes, dos ovos que foram descarregados com as fezes. Em crianças desnutridas, infecções maciças podem causar anemia, diarreia com sangue e, ocasionalmente, prolapso do reto (FEACHEM et al., 1983). *Trichuris spp.* em esgotos podem ser provenientes de seres humanos, suínos ou cães.

Necator americanus e *Ancylostoma duodenale* são os vermes causadores da ancilostomose, conhecida como amarelão, que é mundialmente disseminada. Esses vermes, freqüentemente, causam infecções assintomáticas. Quando produzem a doença, as características mais importantes são a anemia e a debilidade. Podem ocorrer dores gastrointestinais, sintomas cutâneos e pulmonares transientes, além de edemas. Nas áreas endêmicas, produzem os efeitos clínicos mais sérios em crianças mais velhas e adultos jovens, especialmente, naqueles com perdas fisiológicas de ferro. Em crianças, nos casos mais severos, podem causar retardamento mental e do desenvolvimento físico. A doença, raramente, tem sido registrada como causa direta de mortes.

Na transmissão, os ovos são descarregados pelas fêmeas adultas no intestino fino, onde se desenvolvem rapidamente. Se as fezes forem depositadas em ambiente adequado, os ovos eclodem, liberando as larvas de primeiro estágio; entre o terceiro e o quinto dia de vida livre, essas larvas atingem a forma de filárias infectivas ao homem; a infecção ocorre, mais comumente, quando a larva penetra na pele pelo dedo do pé ou tornozelo. No caso do *Ancylostoma*, o terceiro estágio larval pode também infectar o homem quando for ingerido em vegetais não lavados, para os quais migram a partir do solo. Após penetrarem na pele, as larvas podem penetrar

nas veias pequenas ou nos vasos linfáticos, sendo transportadas para o coração e, depois, para os pulmões. O *Necator*, após um período de desenvolvimento nos pulmões, acessa os brônquios e a traquéia, sendo engolido, e atinge o intestino fino. O *Ancylostoma* desenvolve-se no intestino fino, não importando se entra no corpo humano pela via oral ou pela pele.

Na estrogiloidíase, os ovos do verme *Strongyloides stercoralis* desenvolvem-se em larvas não infectantes, que podem ser liberadas com as fezes ou desenvolver-se ao estágio infectante, que penetra a mucosa do intestino ou a região perianal. Ocorre, dessa forma, uma auto-infecção, não observada em nenhum outro verme. As larvas descarregadas com as fezes continuam o amadurecimento no solo, podendo, em condições favoráveis, desenvolver-se a adultos de vida livre. Quando as condições não são próprias, ocorre o desenvolvimento na forma infectante, que pode invadir um novo hospedeiro através da pele. Os sintomas da enfermidade são vagos ou inexistentes, mas a infecção pode ser particularmente séria em indivíduos desnutridos ou imunodeprimidos; nesse caso, as larvas podem atacar a maioria dos órgãos, sendo usualmente fatal.

A enterobíase ou oxiuriase é uma infecção do intestino grosso e apêndice, em que a cabeça dos vermes fica aderida à mucosa das paredes. Os sintomas são usualmente ausentes ou muito leves. Os pruridos são comuns, causando distúrbios do sono e, algumas vezes, náuseas e diarreias. Sintomas de apendicite são muito raros (FEACHEM et al., 1983).

Na transmissão, as fêmeas migram para a parte baixa do intestino e emergem do ânus, normalmente, à noite, depositando os ovos na região perianal. A auto-infecção ocorre pela transmissão de ovos do ânus para a boca, por dedos contaminados; quando os ovos infectivos são ingeridos, as larvas eclodem no intestino fino, sendo os adultos encontrados no intestino grosso.

O homem é hospedeiro acidental dos nematóides *Toxocara canis* e *Toxocara cati*, parasitas, fundamentalmente, de cães e gatos. A transmissão ocorre pela ingestão de ovos, e depende da presença e concentração dos mesmos no solo. Infectam, principalmente, crianças que ingerem poeiras, causando distúrbios gastrointestinais. Podem migrar para os olhos, causando danos severos e, em alguns casos, a perda da visão.

3.6.2 – Cestóides

As principais espécies infectantes são a *Taenia saginata* e a *Taenia solium*, sendo esta última de maior importância, por suas consequências clínicas potencialmente severas. Distintamente da *Taenia saginata*, os ovos de *T. solium* podem infectar o homem. Uma vez ingeridos pelo homem, os ovos de *T. solium* evoluem ao estado de oncosferas (embriões), que penetram a parede intestinal e acessam os vasos linfáticos e sanguíneos, através dos quais são carregados para diversos órgãos e tecidos, onde se desenvolvem a cisticercos. Quando o cérebro, a coluna espinhal ou os olhos são invadidos por cisticercos, as manifestações clínicas são múltiplas, variadas e, com frequência, extremamente sérias. A neurocisticercose resulta em tumores e distúrbios neurofisiológicos e psicológicos graves, e tem altos níveis de letalidade; a cisticercose ocular provoca problemas visuais graves, dores em intensidade crítica e cegueira. O período de incubação no homem varia de 15 dias a até vários anos após o contato (ANDREOLI; BONNET, 1988). Os vermes adultos da *Taenia solium* têm, usualmente, entre 2 e 4m de comprimento, enquanto os da *Taenia saginata*, sob condições favoráveis, podem atingir até 15m ou mais.

Os vermes adultos liberam cerca de 8.10^5 a 1.10^6 ovos por dia. Quando os ovos excretados nas fezes são ingeridos pelo hospedeiro intermediário e atingem o duodeno, ocorre a eclosão dos embriões; o embrião escapa de seu envoltório, penetra nas paredes do intestino, entra pelos vasos linfáticos ou sanguíneos e é transportado para os músculos onde se desenvolve, sendo conhecido como *Cysticercus bovi*. Quando carnes cruas ou mal cozidas são ingeridas pelo homem as larvas aderem às mucosas do jejuno e os vermes adultos desenvolvem-se. Pode ocorrer, também, por alimentos e água contaminados ou, ainda, pelos dedos contaminados introduzidos na boca por pacientes que tenham vermes adultos no intestino (auto infecção externa). Os vermes adultos podem viver no intestino humano por 25 anos ou mais, período em que os ovos infectivos serão excretados pelas fezes.

A difilobotríase é causada pelo *Diphyllobothrium latum* ou tênia do peixe, cujo verme adulto pode medir entre 3 e 10 metros, e viver até 25 anos no intestino humano. Os sintomas da doença incluem dor abdominal, perda de peso, anorexia e vômitos. Os ovos são liberados com as fezes humanas e, no caso de atingirem corpos d'água, desenvolvem-se em larvas ciliadas denominadas coracídios. O

desenvolvimento destas ocorre após as mesmas serem ingeridas por um pequeno copépodo de água doce. Peixes de água doce, ao ingerirem os copépodos contaminados, atuam como segundo hospedeiros intermediários. O estágio infectante, para o homem, localiza-se nos músculos dos peixes, na forma de larvas plerocercóides. O ciclo da doença é completado quando o homem ingere peixes contaminados crus.

Ao contrário dos cestóides, anteriormente descritos, que requerem um ou dois hospedeiros intermediários, a tênia anã do homem, *Hymenolepis nana*, é transmitida entre pessoas. Condições de falta de higiene e climas tropicais favorecem a transmissão, que atinge, principalmente, crianças. A possibilidade de auto-infecção também é relatada. Cargas maciças do verme, que mede entre 15 e 40 mm, podem causar enterite, com dor abdominal e diarreia, perda de apetite e vertigens, com ocasionais quadros epiléticos em crianças.

A tênia do rato, *H. diminuta*, é transmitida entre os roedores, por meio de moscas ou besouros contaminados; a ingestão ocasional desses insetos por crianças pode determinar a ocorrência da enfermidade. A transmissão por insetos contaminados também pode ocorrer no caso da *H. nana*.

3.6.3 - Trematódeos

A esquistossomose, ou bilharziose, é um dos maiores problemas de saúde pública em diversos países, incluindo o Brasil. A parasitose é causada por vermes trematódeos do gênero *Schistosoma*, que vivem aos casais, e movimentam-se pelos vasos sanguíneos e linfáticos do hospedeiros. O *S. heamatobium* habita as veias próximas à bexiga, sendo os ovos descartados com a urina. Outras espécies estão, predominantemente, no sistema venoso, que transporta o sangue dos intestinos ao fígado, com a liberação dos ovos pelas fezes do paciente; as espécies mais importantes na esquistossomose intestinal são o *S. mansoni*, que ocorre no Brasil e em outros países, e o *S. japonicum*, que ocorre, principalmente, na Ásia.

Dependendo de uma série de fatores ambientais, os ovos liberados com as excretas (fezes e urina), ao atingirem os corpos d'água, eclodem em larvas móveis ciliadas, denominadas miracídeos. Estas sobrevivem por até 6 horas e, ao encontrarem espécies adequadas de caramujos, penetram os mesmos, nos quais

passam por uma série estágios de desenvolvimento. Após 1 a 3 meses, larvas aquáticas, denominadas cercárias, emergem dos caramujos e sobrevivem até 48 horas na água; as cercárias, ao contato com o ser humano, penetram rapidamente pela pele, podendo ocasionar prurido e inflamação da mesma. A seguir, as larvas migram aos pulmões, onde o desenvolvimento inicial do parasita pode acarretar febre e sintomas respiratórios. Os maiores problemas são decorrentes não tanto da presença dos vermes na corrente sanguínea, mas, principalmente, da grande quantidade de ovos expelidos pelas fêmeas. Parte desses ovos são passados pela urina ou fezes, sendo responsáveis pela transmissão da doença e também por danos aos tecidos atravessados. A maioria dos ovos, entretanto, permanece no organismo do portador, nas paredes do intestino e na bexiga, podendo ser transportados ao fígado e pulmões ou, ocasionalmente, ao cérebro e à medula espinhal. As conseqüências que podem advir incluem desde sintomas vagos ou inexistentes, até prejuízos ao desenvolvimento de crianças, diminuição da capacidade física, hematúria, perda de sangue com as excretas, prejuízo aos rins, câncer, sangramento dos intestinos, disenteria, fibroma de fígado, coma hepático, ascite, prejuízo aos pulmões, sistema nervoso e morte (FEACHEM et al; 1983).

3.7 – TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

Os patógenos no esgoto estão, principalmente, associados aos sólidos insolúveis. Os processos de tratamento primário de esgoto concentram esses sólidos no biossólido, onde os patógenos maiores e mais densos, tais como cistos de protozoários e ovos de vermes parasitas, são grandemente removidos, pois sua densidade é maior que a da água; embora bactérias patogênicas, como a salmonella, não sejam removidas em grande quantidade. Assim, o biossólido sem tratamento, ou biossólido primário, tem uma densidade de patógenos muito maior do que a do esgoto. Nos processos de tratamento biológico de esgotos, as bactérias patogênicas são fortemente adsorvidas pelo biossólido do filtro ou pelos flocos do biossólido ativado, e também são ativamente capturadas nas atividades de alimentação dos protozoários e outros animais invertebrados. Os vírus são também fortemente

adsorvidos no bioossólido. Portanto, durante o tratamento biológico do bioossólido, há uma substancial redução de vírus e bactérias.

Entretanto, outros patógenos são resistentes a esse processo; ovos de vermes parasitas passam por esse processo, permanecendo viáveis e capazes de infectar; assim como se concentrando no bioossólido. Durante o tratamento biológico, ocorre a transformação de parte da matéria orgânica em gases; o que acarreta uma diminuição no volume de bioossólido, com conseqüente aumento da concentração de ovos de vermes parasitas no bioossólido secundário (PIKE, 1986).

O bioossólido primário e secundário, gerado nos sistemas convencionais de tratamento de esgoto, antes de ser empregado para fins agrícolas, necessita de tratamento para reduzir seu conteúdo de água e matéria orgânica, e precisa de desinfecção. Muitos processos de tratamento de bioossólido estão disponíveis (físicos, biológicos e químicos), os quais usam uma variedade de tecnologias para reduzir patógenos e alterar o estado do bioossólido, a fim de torná-lo menos efetivo para o crescimento microbiano e para a atração de vetores (ratos, moscas, pássaros etc.). A Tabela 18 dá uma perspectiva geral dos processos existentes para atenuação/eliminação de patógenos no bioossólido.

O resultado de cada um desses processos é relativo, dependendo do tipo de tratamento em causa da operacionalização do sistema, e se são utilizados independentemente ou combinados.

Conforme pode ser observado na Tabela 18, os processos que podem ser efetivos para ovos de helmintos são apenas aqueles baseados na morte por radiação e na inativação térmica, sendo os helmintos os patógenos mais resistentes à inativação térmica, e os vírus os patógenos mais resistentes à morte por radiação. Portanto, quando são utilizados processos que se baseiam na inativação térmica de patógenos, se a concentração alcançada pelo processo para helmintos viáveis for em níveis abaixo dos detectáveis, pode-se assumir que todos os demais patógenos presentes no bioossólido estão eliminados.

Apesar dos helmintos serem os patógenos mais resistentes à inativação térmica, esses ainda são os processos mais efetivos na eliminação de helmintos, porque, na morte por radiação, o efeito sanitário de doses de radiação gama de 3 a 3,5 kGy equivale à pasteurização a 70°C por 30min.

Tabela 18 - Perspectiva geral dos processos existentes para controle de patógenos em biossólido

Causa da Morte	Eficiência	Exemplos de processos
- Morte de patógenos em altas temperaturas (o calor pode ser gerado por processos físicos, químicos e biológicos)	Depende do tempo e da temperatura. Mantidas as condições de temperatura necessárias por um período de tempo suficientemente longo, obtém-se redução de vírus, bactéria, cistos de protozoários e ovos de helmintos a níveis abaixo dos detectáveis. Os ovos de helmintos são os mais resistentes a altas temperaturas.	<ul style="list-style-type: none"> - Compostagem (fonte de calor processo biológico) - Secagem e tratamento térmico (fonte de calor, processos físicos, i.e., gases quente, trocadores de calor). - Pasteurização (calor físico) - Digestão aeróbia (calor biológico) - Digestão anaeróbia (calor físico)
- Morte de patógenos com radiação	Depende da dose. Doses suficientes podem reduzir vírus, bactérias, protozoários e ovos de helmintos a níveis abaixo dos detectáveis. Vírus são os mais resistentes à radiação.	Radiação gama e radiação com feixe de elétrons de alta energia
- Morte de patógenos usando desinfetantes químicos	Reduz substancialmente bactéria e vírus. Provavelmente, reduz cistos de protozoários. Não é eficiente na redução de ovos de helmintos, a não ser combinado com calor,	<ul style="list-style-type: none"> - Super cloração - Estabilização com cal
- Inibição do crescimento de patógenos pela redução da quantidade de matéria orgânica no biossólido (fonte de alimento dos microorganismos)	Redução de bactérias.	<ul style="list-style-type: none"> - Digestão aeróbia - Digestão anaeróbia - Compostagem
- Inibição da sobrevivência de patógenos pela remoção da água do biossólido	Reduz vírus e bactérias. Provavelmente, é eficiente na destruição de cistos de protozoários. Não reduz efetivamente ovos de helmintos, a não ser combinados com outros processos, tais como altas temperaturas	Secagem com ar ou calor

Fonte: EPA (1994).

Para ovos de *Ascaris*, uma dose total de radiação gama de 1 kGy reduz, efetivamente, o desenvolvimento de larvas potencialmente infectivas presentes em biossólido, contendo 20% de sólidos em 99%; porém doses maiores com irradiação de até 10 kGy não realizaram inativação de 100% dos ovos (MELMED; COMNINOS 1979); o que pode ser alcançado pelos processos de inativação térmica.

A seguir, são enfocados os processos efetivos na redução (níveis abaixo dos detectáveis) de patógenos no biossólido; estes processos são baseados na morte por radiação e na morte térmica de patógenos.

3.7.1 - Compostagem

A compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica, de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação, sob a ação de diversos grupos de microrganismos, resultando em um processo bioquímico altamente complexo. Sendo um processo biológico, os fatores mais importantes, que influem na degradação da matéria orgânica, são a aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente, no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos; porém é resultado da atividade biológica. Os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são fundamentais no crescimento bacteriano. Há três métodos, geralmente utilizados, de compostagem: sistemas fechados ou reatores biológicos (within-vessel), leiras revolvidas (windrow) e leiras estáticas aeradas (static aerated pile).

Para ser considerado um processo efetivo na eliminação de patógenos, o processo de compostagem precisa ser operado dentro de certas condições (EPA, 1992):

para os processos aerados (reator biológico ou leiras estáticas aeradas), a temperatura deve ser superior ou igual a 55 °C durante pelo menos 3 dias. Para a compostagem em leiras revolvidas, a temperatura deve ser igual ou superior a 55 °C durante 15 dias, sendo que neste período deve haver no mínimo 5 revolvimentos.

3.7.2 - Secagem térmica

Trata-se de um método de secagem de biossólido, que alguns autores classificam também como uma forma de estabilização, devido à eliminação térmica dos patógenos e ao bloqueio dos odores emanados pelo biossólido. A secagem térmica consiste na elevação da temperatura, que provoca a evaporação da água. O biossólido precisa ser desidratado até apresentar teor de sólidos na faixa de 20 a 45%. Após a secagem, o biossólido pode adquirir aspecto granular e apresentar teor de sólidos de 90 a 95%. O processo é eficiente para bloquear a atividade biológica no biossólido, devido à secagem, porém, como não há mudanças substanciais na matéria orgânica, uma vez que o biossólido reidrata-se no solo, por exemplo, a atividade biológica é retomada, e podem ocorrer problemas de odores.

De acordo com a EPA (1992), para ser efetiva, em termos de patógenos, a secagem térmica necessita que:

o biossólido seja seco, pelo contato direto ou indireto com os gases quentes, para reduzir a umidade do biossólido a no mínimo 10% . A temperatura das partículas de biossólido deve exceder 80 °C ou a temperatura de bulbo úmido do gás em contato com o biossólido na saída do secador exceder 80 °C.

Os sistemas de secagem térmica podem ser classificados em dois grandes tipos: secadores de contato direto, nos quais o ar quente fica em contato direto com o biossólido, arrastando a umidade, eventuais gases e poeiras; e os secadores de contato indireto, nos quais o calor é transmitido por meio de uma placa trocadora de calor plana ou cilíndrica (FERNANDES, 2000).

3.7.3 - Tratamento térmico

Os processos de tratamento térmico são usados para estabilizar e condicionar o biossólido. Os processos envolvem o aquecimento do biossólido sob pressão, por um curto período de tempo, tornando o biossólido esterilizado; as condições de operação devem ser:

o biossólido líquido deve ser aquecido a uma temperatura igual ou superior a 180 °C, durante, pelo menos, 30 minutos.

Se estas especificações forem seguidas, o processo reduz, efetivamente, vírus patogênicos, bactérias e ovos de helmintos abaixo dos níveis detectáveis. Entretanto o bio sólido precisa ser devidamente estocado após o processamento, pois a matéria orgânica não foi reduzida e, conseqüentemente, o recrescimento de bactérias patogênicas pode ocorrer se o bio sólido tratado for reinoculado.

Dois processos têm sido utilizados para o tratamento térmico de bio sólidos: o Zimpro e o Porteous. O processo Zimpro (bio sólido bruto), de oxidação a ar úmido, é baseado no fato de que qualquer substância capaz de ser queimada pode ser oxidada na presença de água em temperaturas de 120 a 370 °C. Quando o bio sólido bruto é aquecido sob pressão, a temperaturas na faixa de 170 a 200 °C na presença de oxigênio, a estrutura do bio sólido, semelhante a um gel, é quebrada e a água retirada, por exemplo, por filtração e centrifugação, sem a adição de compostos químicos. A vantagem desse processo é que elimina os digestores e produz um bio sólido facilmente desidratável e estéril. A desvantagem desse sistema é que um líquido com altíssima DBO é produzido, representando uma carga adicional no sistema de tratamento biológico (OSBORN; HATTING, 1978).

No processo Porteous (bio sólido digerido), é necessário aquecer o bio sólido digerido a 188 °C, e mantê-lo nesta temperatura por 30 minutos. Semelhante ao processo Zimpro, seu objetivo básico é obter um material em que seja fácil a retirada da água em filtros prensa, resultando em um bio sólido estéril com 45% de sólidos. Problemas operacionais similares e equipamentos periféricos semelhantes são usados nos dois processos.

3.7.4 - Digestão aeróbia termofílica

A digestão aeróbia termofílica é um refinamento do processo de digestão anaeróbia convencional. Nesse processo, o bio sólido alimentado é, geralmente, pré-espessado, e um aerador eficiente é usado. Em alguns casos, o oxigênio é utilizado em lugar do ar. Por haver um menor volume de bio sólido e ar para arrebatar o calor, este, liberado pela oxidação biológica, aquece o bio sólido no digestor, a temperaturas superiores a 60 °C.

Devido ao aumento de temperatura, esse processo alcança maiores taxas de redução de sólidos orgânicos do que a realizada pela digestão anaeróbia convencional, que opera à temperatura ambiente. O conteúdo de sólidos voláteis biodegradáveis do biossólido pode ser reduzido em, aproximadamente, 70% em um período de tempo relativamente curto. O biossólido é efetivamente pasteurizado, devido às altas temperaturas. Vírus patogênicos, bactérias e parasitas são reduzidos abaixo dos níveis detectáveis se a temperatura exceder 55 °C.

O processo pode ser realizado, usando aquecimento auxiliar dos tanques de digestão ou por meio de projeto especial, que permita que a energia naturalmente liberada pelo processo de digestão microbiológica aqueça o biossólido. Para que uma efetiva eliminação de patógenos seja alcançada, é necessário que:

o biossólido líquido seja agitado com ar ou O₂ para manter as condições aeróbias e o tempo médio de residência (i.e., o tempo de detenção dos sólidos) do biossólido deve ser 10 dias a 55-60 °C.

KABRICK; JEWELL (1982) reportam extensivos estudos da estabilização aeróbia termofílica em um digestor, tipicamente operando entre 45 a 55° C e tempo de detenção na faixa de 20 a 30 dias. No biossólido digerido, *Salmonella* e vírus entéricos foram reduzidos a níveis abaixo dos detectáveis; *Coliforme fecal* e *Streptococci fecal* foram reduzidos por 3.5 a 2.5 log unidades, respectivamente; ocasionalmente, foram encontrados ovos viáveis de helmintos.

3.7.5 - Irradiação com raios beta e raios gama

A radiação pode ser usada para desinfectar o biossólido. Ela destrói certos organismos pela alteração do conteúdo de natureza coloidal das células (protoplasma). Raios gama e raios beta são as duas fontes potenciais de energia para o uso na desinfecção do biossólido. Raios gama são fótons de alta energia, produzidos por certos elementos radioativos. Raios beta são elétrons acelerados pelo potencial elétrico da vizinhança, de 1 milhão de volts. Os dois tipos de radiação destroem os patógenos penetrados por eles, se doses adequadas forem usadas. Para a efetiva destruição de patógenos nos biossólido, são necessários:

irradiação com raios beta - o biossólido deve ser irradiado com um acelerador de elétrons de raios beta com doses de no mínimo 1 megarad a temperatura de 20 °C; irradiação com raios gama – o biossólido deve ser irradiado com raios gama de isótopos conhecidos tais como, cobalto 60 e célio 137, em doses de no mínimo 1 megarad à temperatura ambiente.

A eficiência da radiação beta na redução de patógenos depende da dose de radiação, que é medida em rads. Uma dose de 1 megarad ou mais pode reduzir vírus patogênicos, bactérias, e helmintos para níveis abaixo dos detectáveis. Doses menores podem reduzir bactérias e ovos de helmintos, mas não vírus.

Embora os dois tipos de radiação sejam similares na inativação de patógenos, há diferenças importantes entre eles. Os raios gama podem penetrar substancial espessura do biossólido, já os raios beta têm capacidade de penetração limitada e, portanto, são introduzidos passando-se uma fina camada de biossólido sob a fonte de radiação.

3.7.6 - Pasteurização

A pasteurização envolve o aquecimento do biossólido a uma temperatura pré-determinada, por um período mínimo de tempo. Para a pasteurização, a EPA recomenda: a temperatura do biossólido deve ser mantida no mínimo a 70 °C durante pelo menos 30 minutos.

O biossólido pode ser aquecido por trocadores de calor ou pela injeção de vapor. Este método é o preferido, porque é mais efetivo em manter toda a batelada de biossólido que está sendo processada à temperatura constante. O biossólido é pasteurizado em batelada, para prevenir a recontaminação, que pode ocorrer nos processos contínuos. O biossólido necessita ser devidamente estocado após seu processamento, pois a matéria orgânica não foi estabilizada e, portanto, odores e recrescimento de bactérias podem ocorrer se o biossólido for reinoculado.

Na Europa, sérios problemas com o recrescimento de *Salmonella sp.* ocorreram; por isso, a pasteurização é raramente utilizada, hoje, como a fase terminal do processamento. A pasteurização não reduz o conteúdo de matéria orgânica do biossólido, portanto, é necessário aliar a pasteurização a um processo de estabilização, geralmente, digestão anaeróbia mesofílica.

Para os propósitos de aquecimento do bio sólido, para digestão ou pasteurização, usando o gás dos digestores, os seguintes métodos estão disponíveis (BRUCE; OLIVER, 1987): caldeiras de água quente, injeção de vapor vivo no bio sólido e combustão submersa.

Tradicionalmente, as caldeiras de água quente vêm sendo empregadas para aumentarem a temperatura dos digestores anaeróbios e realizarem a pré-pasteurização do bio sólido em plantas pequenas e médias. As caldeiras seccionais modernas têm uma eficiência em torno de 85%, e são de operação completamente automática. A água é, geralmente, aquecida a cerca de 80 °C, e a transferência de calor ocorre com o uso de algum tipo de trocador de calor água/bio sólido, que pode ser interno ou externo aos digestores. A temperatura de retorno da água é, geralmente, em torno de 70 °C, sendo a eficiência global da transferência de calor para o bio sólido em torno de 60 a 65%. As caldeiras para aquecimento de bio sólido são, normalmente, equipadas com queimadores, que aceitam o uso do gás dos digestores sem tratamento ou combustíveis padrão, como óleo ou propano.

A injeção de vapor vivo no bio sólido foi um dos primeiros métodos usados para o aquecimento dos digestores. Várias plantas empregaram esse sistema nos anos de 1920, mas o método entrou em desuso nos últimos anos, tendo sido reintroduzido atualmente. As caldeiras de vapor têm, aproximadamente, a mesma eficiência das caldeiras de água quente, mas a injeção direta do vapor no bio sólido remove as necessidades do sistema de trocador de calor. A grande vantagem deste é a eliminação de vários problemas vivenciados em alguns sistemas de trocador de calor para bio sólido. As eficiências globais obtidas são de 60 a 70%. O efeito de diluição do vapor condensado representa somente 5% do volume do bio sólido, quando for operado o digestor a 35°C.

No processo de combustão submersa, uma mistura de gás e ar é comprimida e expandida em um tubo combustor, dentro de uma câmara imersa em bio sólido, onde é queimado. O calor de combustão dos gases (1000 °C) induz uma mistura vigorosa, ocorrendo contato íntimo com o bio sólido. A grande área de contato e a larga diferença de temperatura entre os gases de combustão e o bio sólido dão uma alta eficiência térmica. A principal desvantagem desse processo é a produção dos gases de exaustão dentro do bio sólido, de forma que tal processo não pode ser usado

dentro de digestores fechados. Os gases também possuem mau odor, embora esse problema possa ser resolvido pela passagem dos gases através do solo ou de filtro.

3.8 – INATIVAÇÃO TÉRMICA DE PATÓGENOS

FOLIGUET; DONCOEUR (1972) realizaram testes de inativação térmica de enterovírus e *salmonella*, em bio sólidos ativados e em bio sólidos digeridos através de pasteurização, utilizando como fonte de calor água quente em um trocador de calor, concluindo que o aquecimento do bio sólido de 6 - 15 °C até 80 °C, em um período máximo de 10 minutos, seguido pela manutenção do bio sólido a 80 °C por, no mínimo, 10 minutos, resulta na inativação de germes patogênicos; entretanto, estes não podem ser considerados estéreis, porque germes esporulados sobrevivem.

STRAUCH; BERG (1980), em uma instalação de pasteurização por batelada, observaram a destruição de ovos de *Ascaris* e *Salmonella* em um intervalo de 30 minutos e temperaturas entre 60 e 70 °C, podendo o tempo de reação ser diminuído para 20 minutos, se for garantida uma distribuição homogênea de temperatura. Os mesmos patógenos foram destruídos em uma instalação de pasteurização contínua após 6 minutos a uma temperatura de 80 °C.

AHMED; SORENSEN (1995) estimaram a cinética de destruição de patógenos (*Yersinia enterocolítica*, *Campylobacter jejuni*, poliovírus e ovos de *Ascaris suum*) durante a estocagem de bio sólido digerido, sendo incubados a 5°, 22°, 38° e 49,5°C, sob condições aeróbias e anaeróbias por 62 dias. A destruição de patógenos no bio sólido estocado ocorreu em todas as temperaturas examinadas. A destruição de ovos de *Ascaris suum* foi a menos sensível à temperatura. Baseado na taxa de decaimento obtida no estudo, aproximadamente, 5 dias são necessários para se realizar uma redução de 10 X (log10) da concentração de *Ascaris* a 50°C, e apenas 0,8 a 1,5 dias são necessários para realizar a mesma redução na concentração dos demais patógenos do estudo nessa temperatura.

BLACK et al. (1982) estudaram os efeitos da digestão anaeróbia mesofílica (35°C) e da digestão aeróbia (20°C) na sobrevivência de vermes parasitas: *Ascaris*

suum, *Toxocara canis*, *Trichuris vulpis*, *Trichuris suis* e *Hymenolepis diminuta*. Os reatores de laboratório, simulando um sistema contínuo, foram operados com tempo de detenção de 15 dias. Os ovos de *Ascaris* foram destruídos da seguinte forma: 23% na digestão anaeróbia e 38% nos digestores aeróbios. Já 11% dos ovos de *Trichuris* foram destruídos nos digestores aeróbios. Os ovos de *Trichuris* nos digestores anaeróbios e os ovos de *toxocara* nos digestores aeróbios e anaeróbios não foram destruídos. A viabilidade dos ovos de *Ascaris* e *Toxocara*, que sobreviveram aos processos de digestão, foi maior no biossólido tratado anaerobiamente do que no tratado aerobiamente.

MARTIN et al. (1990), reduzindo, por um processo simples, as perdas de calor de um digestor aeróbio de biossólido, estudaram a redução da densidade de microrganismos entéricos (*Coliformes totais e fecais*, *Streptococci fecal e enterovírus*) na faixa de 8 a 40°C, com tempos de detenção de 10, 15 e 20 dias. Observaram que a redução da densidade dos quatro grupos de microrganismos entéricos é dependente da temperatura e do tempo de detenção. Usando a equação de Arrhenius, foi possível descrever matematicamente a dependência da temperatura da taxa de redução de densidade para cada um dos quatro grupos de microrganismos entéricos. As quatro relações desenvolvidas fornecem uma base racional, para determinar o tempo de residência necessário para uma dada redução de microrganismos entéricos, na faixa de temperaturas de 8 a 40°C.

STEER; WINDT (1978) utilizaram a viabilidade dos ovos de *Ascaris lumbricoides*, para avaliar a eficiência de uma planta de compostagem de leiras revolvidas, utilizando biossólido digerido seco e refugo doméstico bruto. Concluíram que o período de maturação deve ser mantido por, no mínimo, 17 dias, para assegurar a inativação de ovos de *Ascaris* em temperaturas igual ou maior a 65°C. O revolvimento das leiras deve ser realizado semanalmente, durante todo o processo de maturação.

PIKE; CARRINGTON (1983) estudaram a inativação de ovos de *Ascaris suum* na digestão anaeróbia mesofílica (35°C) e termofílica (49°C), concluindo que, na primeira, 30 a 50% dos ovos recuperados são viáveis; já na segunda, a viabilidade foi reduzida em 99%. Eles ressaltam, no entanto, que 50 a 75% dos ovos adicionados não podem ser recuperados após a digestão. Na pasteurização em câmara de

combustão submersa, a perda de viabilidade dos ovos de *Taenia saginata* foi fortemente acelerada na faixa de 40 a 60 °C, mas foi pouco influenciada pela temperatura na faixa de 4 a 40°C.

WAITE; FINCH (1986) estudaram a cinética de inativação de *Salmonella* em biossólido bruto, em câmara de combustão submersa, com temperaturas na faixa de 50 a 55°C; sendo que a 55°C, na câmara de combustão submersa, *Salmonellas* são reduzidas em 99,99% com tempo de detenção de 1 hora.

CARRINGTON (1985), pasteurizando biossólido, concluiu que ovos de *Ascaris suum*, aquecidos a 55°C e mantidos nesta temperatura, por 2 horas, são completamente inativados. Concluiu também que, devido à alta resistência dos ovos de *Ascaris suum* ao calor, este pode ser usado como um indicador conveniente nos processos térmicos.

A morte ou inativação térmica implica na eliminação de microrganismos sem, necessariamente, desintegrar as células completamente. Atualmente, está claro que a probabilidade de morte de microrganismos devido à aplicação de calor é resultante de alguma reação química, possivelmente, ocorrendo em um simples ponto dentro do organismo e, talvez, envolvendo somente uma ou duas moléculas complexas.

É também provável que a destruição dessas moléculas complexas ocorra por uma das três principais vias (RICHARDS, 1968):

- Ativação direta da molécula pela energia do calor, seguida por quebra de ligação química interna, sem a intervenção de outras moléculas. Os estudos cinéticos de reações químicas mostram que reações desse tipo são de primeira ordem.
- Reação entre uma molécula complexa do organismo e o oxigênio. Esta reação tem sido postulada para a morte de esporos por calor a seco. Reações de oxidação desse tipo, em presença de grande excesso de oxigênio, são tipicamente de primeira ordem, embora elas sejam, no mínimo, bimolecular.
- Reação entre uma molécula complexa do organismo e vapor. Como no caso da oxidação, um dos reagentes estará em grande excesso (nesse caso, o vapor), e a reação será bimolecular, mas de primeira ordem.

Conseqüentemente, pode-se esperar que, qualquer que seja o mecanismo real da reação de esterilização térmica, esta será caracterizada, no mínimo, por cinética de primeira ordem.

Assumindo-se que a inativação térmica de patógenos no biossólido seja uma reação irreversível de primeira ordem:

$$R_N = -\frac{dN}{dt} = kN \quad (18)$$

em que R_N é a velocidade de reação, N é a fração de ovos viáveis de *Ascaris*, t é o tempo minutos e k a velocidade específica de reação ou constante específica de taxa de morte em min^{-1} . Da equação de projeto do reator batelada, tem-se:

$$t = \int_{N_o}^N \frac{dN}{-R_N} \quad (19)$$

em que N_o é a fração inicial de ovos viáveis de *Ascaris* em $t \rightarrow 0$. Substituindo-se (18) em (19) e integrando, obtém-se:

$$t = -\frac{1}{k} \ln \frac{N}{N_o} \quad (20)$$

Rearranjando os termos:

$$\ln \left(\frac{N}{N_o} \right) = -kt \quad (21)$$

Para muitas reações, a temperatura e a constante de velocidade da reação podem ser expressas, praticamente em todos os casos, pela Lei de Arrhenius (LEVENSPIEL, 1988):

$$k = k_o e^{-E/RT} \quad (22)$$

em que k_o é o fator de frequência, E a energia de ativação de morte, T a temperatura absoluta em graus Kelvin e R a constante do gás ideal. Aplicando-se o logaritmo natural em (22), tem-se:

$$\ln k = \ln k_o - \frac{E}{RT} \quad (23)$$

Essas duas constantes, a energia de ativação e a constante de Arrhenius, efetivamente, caracterizam a destruição térmica de um dado organismo sob as condições de teste; assim, usando-se a equação de Arrhenius e a equação da taxa equação (21), pode-se calcular o tempo necessário para qualquer redução na população em qualquer temperatura desejada.

A resistência térmica dos microrganismos ao processo térmico pode ser definida por vários parâmetros.

A taxa de destruição microbiana é definida em termos de D , o tempo de redução decimal, tempo necessário para reduzir a concentração de esporos dez vezes em uma dada temperatura. Como a destruição térmica de microrganismos, normalmente, segue uma reação de primeira ordem, o logaritmo do número de microrganismos sobreviventes a um dado tratamento térmico em uma dada temperatura, em função do tempo de aquecimento, é uma linha reta. O valor de D é definido como (TOLEDO, 1999):

$$D = \frac{\ln(10)}{k} \quad (24)$$

A variável $Q10$ mostra a dependência da temperatura das reações biológicas. Sendo definido como o número de vezes que a taxa da reação muda com a alteração de 10°C na temperatura.

$$\ln(Q10) = \frac{E}{R} \left[\frac{10}{T_1 T_2} \right] \quad (25)$$

O valor de D depende fortemente da temperatura, e temperaturas mais altas implicam valores menores de D . A sensibilidade do valor de D com a temperatura é expressa pelo gráfico do logaritmo de D em função da temperatura. O indicador da sensibilidade térmica do valor de D é definido como z , diferença de temperatura requerida para reduzir o valor de D dez vezes, ou seja, a mudança de temperatura necessária para mudar a taxa de inativação por um fator de dez.

$$z = \frac{10 \ln(10)}{\ln(Q10)} \quad (26)$$

3.9 – DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA - DTR

Fluidos podem ser esterilizados em trocadores de calor (TOLEDO, 1999). O fluido, normalmente, atinge a temperatura de processo rapidamente, de modo que a letalidade do aquecimento, geralmente, é desprezada. A esterilização requerida pelo processo é dada no tubo de retenção - uma seção não aquecida do tubo que fica no final da seção de aquecimento. O dimensionamento do tubo de retenção é feito para garantir que a letalidade mínima seja atingida no processo.

O tempo espacial τ é definido como o tempo necessário para se processar um volume de reator, considerando-se o fluido nas condições de entrada:

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (27)$$

em que Q é a vazão volumétrica de entrada no reator, e V é o volume do reator; *para* um reator cilíndrico V , é dado por:

$$V = \pi r^2 L_t \quad (28)$$

sendo r o raio do reator, e L_t seu comprimento.

O fluido não passa pelo tubo com a mesma velocidade em todos os pontos; portanto, normalmente, considera-se a porção do fluido que se move mais rapidamente para efetuar o cálculo da letalidade.

O tempo de residência de um elemento fluido pode ser definido como o tempo decorrido entre a entrada deste no sistema até sua saída. A distribuição desses tempos é chamada de função de distribuição do tempo de residência do fluido E , e representa a fração de fluido que deixa o sistema em cada tempo (FOGLER, 2002):

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt} \quad (29)$$

Em que $C(t)$ é a concentração na saída do traçador no tempo t , o tempo médio de residência é, portanto:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} tE(t) dt \quad (30)$$

LEVENSPIEL (1988) afirma que a distribuição dos tempos para o elemento de fluido, que deixa o sistema estudado, é conhecida como a distribuição da idade de saída E , ou distribuição do tempo de residência. Quando a injeção do traçador é feita pela técnica do pulso, obtém-se a curva $E(t)$. Na entrada tipo pulso, o traçador é injetado repentinamente, de uma só vez, na corrente de alimentação do reator, em um tempo tão pequeno quanto possível; o ideal é esse tempo tender a zero.

A curva $E(t)$ é uma distribuição normalizada, ou seja, a área sob a curva $E(t)$ por t é unitária.

$$\int_0^{\infty} E(t)dt = 1 \quad (31)$$

O valor da função $E(t)$ fornece a fração dos elementos, que deixa o sistema em um dado tempo.

O valor médio da distribuição, isto é, o primeiro momento da distribuição, é uma das medidas mais importantes na caracterização da distribuição, utilizado para se comparar diferentes distribuições do tempo de residência. A média pode ser calculada a partir da curva de concentração C pelo tempo t , da seguinte forma:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} tCdt}{\int_0^{\infty} Cdt} \quad (32)$$

Se a curva de distribuição só é conhecida em alguns valores discretos de tempo, a média pode ser calculada por:

$$\bar{t} = \frac{\sum tiCi\Delta ti}{\sum Ci\Delta ti} \quad (33)$$

Para a curva $E(t)$ pelo tempo (t) , a média é dada por:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} tE(t)dt \cong \sum tiE(ti)\Delta ti \quad (34)$$

O espalhamento da distribuição é representado pela variância (σ^2), isto é, o segundo momento da distribuição, sendo definido por:

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 Cdt}{\int_0^{\infty} Cdt} = \frac{\int_0^{\infty} t^2 Cdt}{\int_0^{\infty} Cdt} - (\bar{t})^2 \quad (35)$$

Para valores discretos de tempo, a variância pode ser estimada por:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (ti - \bar{t}) Ci \Delta ti}{\sum Ci \Delta ti} = \frac{\sum ti^2 Ci \Delta ti}{\sum Ci \Delta ti} - (\bar{t})^2 \quad (36)$$

Para a curva E (t) pelo tempo (t), a variância é dada por:

$$\sigma^2 = \int_0^\infty t^2 E(t) dt - (\bar{t})^2 \cong \sum ti^2 E(ti) \Delta ti - (\bar{t})^2 \quad (37)$$

Segundo CHAKRABANDHU (2000), foram feitos muitos estudos para a distribuição do tempo de residência em fluidos em sistemas de processamento asséptico. O método de detecção mais usado é o da condutividade, e o traçador mais usado é o sal cloreto de sódio. Porém o grande problema dessa técnica é que, se o produto tiver alta condutividade, o nível de ruído na medida será muito alto. Portanto, é necessário que se adicione uma quantidade muita alta de traçador no sistema, para melhorar a relação sinal/ruído.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1- ESCOLHA E OBTENÇÃO DE HELMINTOS

O emprego de ovos de “*Ascaris suum*” como indicador para helmintos, no presente trabalho, baseia-se nas seguintes afirmativas:

- - Os ovos de *Ascaris* são os mais resistentes entre os ovos ou cistos de parasitas encontrados no bioossólido. Este fato, ligado à ocorrência comum de ovos de *Ascaris*, faz dele um bom indicador dos parasitas desse grupo (EPA, 1992);
- - Os ovos de *Ascaris* são um bom indicador de helmintos, visto que eles são relativamente grandes e fáceis de se identificar (EPA, 1992);
- - A ascaridiose é uma infecção helmíntica comum e onipresente. Os ovos de *Ascaris* tendem a sedimentar no bioossólido e são mais resistentes às condições externas do que outros organismos entéricos; então o uso de ovos de *Ascaris* como indicador para helmintos fornece uma margem de segurança no monitoramento dos processos térmicos (MEYER et al; 1978);
- - Os ovos de *Ascaris* são os mais resistentes às influências químicas e mecânicas de todos os ovos de parasitas e cistos encontrados no bioossólido; logo, a inativação deste indica a completa destruição de todos os outros ovos parasitas (KELLER, 1951);
- - Os ovos de *Ascaris suum* são prontamente obtidos de porcos, permitindo que grande número de ovos sejam adicionados aos reatores. A determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris suum* necessita apenas de um período de incubação em solução de água, em temperatura controlada (PIKE; CARRINGTON, 1983);
- É necessário o controle da disseminação de ovos de *Ascaris* em países tropicais em desenvolvimento (PIKE; CARRINGTON, 1983);
- Dentre os ovos de helmintos, os ovos de *Ascaris* são os predominantes no bioossólido da ETE Vila Leopoldina em São Paulo (GASI, 1991);

- Não existe diferença morfológica entre os ovos de *Ascaris lumbricoides* (humano) e os ovos de *Ascaris suum* (suínos), mas somente uma fisiológica. Experimentos demonstram que as duas estirpes são biologicamente idênticas (KELLER, 1951).

Os ovos de *Ascaris suum* foram obtidos do útero de fêmeas adultas. Os vermes adultos foram adquiridos de um abatedouro de porcos, localizado no município de Carapicuíba.

Optou-se por esse procedimento, ao invés de recuperá-los das fezes de porco, devido à rapidez e à grande concentração de ovos obtidos por esse método. O único inconveniente, é a viabilidade menor dos ovos, pois podem ocorrer ovos ainda não completamente formados. Porém, em ensaios, determinou-se a viabilidade dos ovos obtidos por este método.

O protocolo para obtenção de ovos de *Ascaris suum* foi feito segundo WILLIAMS; SOULZBY (1970), com ligeiras modificações.

Inicialmente, os vermes foram lavados em soro fisiológico; em seguida, as fêmeas adultas de *Ascaris suum* foram dissecadas, e o terço distal do útero foi retirado. Este material foi homogeneizado em Ultra Turrax, por 5 minutos, em solução salina (NaCl 0,15M). Após esta etapa, o material foi centrifugado a 1.500 rpm, por 10 minutos. O sobrenadante foi desprezado e o pellet ressuspendido em solução de NaCl 0,15M.

A solução de ovos foi padronizada, preparando-se 10 lâminas, com dois microlitro cada, e contando-se, em microscópio, o número de ovos. A solução padronizada (número de ovos/ μ l) foi armazenada para uso em geladeira a 4 °C

Todo o protocolo para a obtenção dos ovos de *Ascaris* foi realizado no Laboratório de Imunopatologia do Instituto Butantã.

Para determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris* obtidos por esse protocolo, 10 amostras, com volume de 100 μ l (microlitro) cada, foram retiradas da solução padronizada de ovos de *Ascaris*, 40 ovos/ μ l. Em cada amostra, foi adicionado 1ml de solução 0.1N de H₂SO₄. As amostras foram incubadas em estufa a 26°C, por seis semanas, para determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris*.

Para leitura das amostras, foi pipetado 50/ μ l da solução concentrada, incubada em lâminulas, adicionando-se algumas gotas de corante à base de iodo (lugol). A leitura foi realizada em microscópio, com aumento de 100 vezes.

Os ovos de *Ascaris* observados foram reportados como ovos que alcançaram o estágio de larva, considerados viáveis; os demais ovos de *Ascaris* observados foram considerados inviáveis.

4.2 - EXATIDÃO E PRECISÃO DO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DE OVOS DE ASCARIS EM AMOSTRAS DE BIOSSÓLIDO DIGERIDO E DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE SÓLIDOS TOTAIS.

Exatidão está relacionada à incerteza, associada a erros sistemáticos, ou seja, erros determinados, que podem ser evitados ou cuja grandeza pode ser determinada; ou a quanto próximo está do valor verdadeiro. Comparação da recuperação com os ovos colocados no início do processo de extração (BOWMAN et al., 2003).

$$\% RC_p = \frac{(OR_s - OS_s) * 100}{OS} \quad 38$$

onde, RC_p é a recuperação OR_s é o número de ovos recuperados da amostra semeada OS_s é a média do número de ovos de duas amostras sem semear e OS é o número de ovos semeados.

A precisão, reprodutibilidade, ou comparação com amostras processadas em duplicata, está relacionada à incerteza, associada a erros casuais, ou ao grau de reprodutibilidade dos dados no experimento. A precisão sempre acompanha a exatidão, mas uma elevada precisão não acarreta a exatidão.

$$\% CV = \frac{SD * 100}{\mu} \quad (39)$$

em que CV é o coeficiente de variação da amostra, μ é a média e SD o desvio padrão.

Por um método indireto de avaliação da precisão (BOWMAN et al., 2003), esta pode ser avaliada como:

$$\% VD_M = \frac{\mu * 100}{SD} \quad (40)$$

onde, VD_M é a variação da densidade média.

4.2.1 - Biossólido

O biossólido digerido, utilizado neste trabalho, foi coletado de um reator anaeróbio, tipo UASB, localizado no Centro de Tecnologia Hidráulica - CTH, sendo alimentado pelo esgoto proveniente do COSEAS - CRUSP, da Cidade Universitária, do Campus da Universidade de São Paulo na Capital. A Figura 2 mostra uma foto do reator anaeróbio tipo UASB, situado no CTH.

Figura 2 - Reator anaeróbio tipo UASB, localizado no Centro de Tecnologia Hidráulica – USP/ SP.

4.2.2 - Equipamentos

1.1 Microscópio com luz padrão, marca ZEISS, modelo AXIOSKOP.

1.2 Câmara de Sedgwick-Rafter, modelo S52 graticules.

- 1.3 Centrífuga de topo, marca HERAEUS, modelo MEGAFUME 1.0.
- 1.4 Rotores para sustentar quatro tubos de centrífuga de plástico de 50ml, marca HERAEUS, modelo MEGAFUME 1.0.
- 1.5 Rotores para sustentar oito tubos cônicos de centrífuga de plástico de 15ml, marca HERAEUS, modelo MEGAFUME 1.0.
- 1.6 Peneira 48 mesh.
- 1.7 Micropipeta, marca EPPENDORF, modelo RESEARCH.
- 1.8 Estufa bacteriológica, marca BIOPAR.
- 1.9 Decímetro.
- 1.10 Balança eletrônica de precisão, marca MARTE, modelo, LC2.

4.2.3 - Reagentes

- 2.1 Solução tampão de fosfato. A solução foi preparada, dissolvendo-se 34 gramas de dihidrogênio fosfato de potássio (KH_2PO_4) em 500ml de água destilada, ajustando-se o pH para $7,2 \pm 0,5$ com NaOH 1 N, e diluindo-se, para 1 litro, com água destilada.
Em seguida, adicionou-se 1,25 ml de solução tampão de fosfato a 5ml de solução de cloreto de magnésio (81,1g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /l de água destilada) para 1 litro de água destilada.
Preparou-se a solução tampão de fosfato, contendo 0,1% (v/v) Tween 80. Ajustou-se o pH para $7,2 \pm 0,1$ com NaOH 1 N.
- 2.2 Tween 80.
- 2.3 Solução de sulfato de zinco, densidade 1,2. Pesou-se 454 g ZnSO_4 em 1 litro de H_2O destilada. Dissolveu-se e ajustou-se a gravidade específica com um decímetro par 1,2.
- 2.4 H_2SO_4 0,1 N em 35% etil álcool.
- 2.5 Etil éter.

4.2.4 - Procedimento para determinação da viabilidade de ovos de Ascaris do biossólido

- a- 50 gramas de biossólido + 450 ml de água, contendo solução tampão de fosfato com 0,1% Tween 80;
- b- O volume remanescente da amostra homogeneizada (depois da remoção da parte para cistos de protozoários) é retirado e passado através de peneira de malha 48 (gaze dobrada em quatro partes), colocada em funil sobre um becker de 2 litros;
- c- A amostra é lavada através de peneiras, com várias enxaguadas com água de torneira quente (morna), coletando o lavado no bécker;
- d- A amostra lavada no bécker é deixada para sedimentar “overnight” (de um dia para outro);
- e- O sobrenadante é removido do bécker acima da camada sedimentada;
- f- O material sedimentado é revolvido e colocado em tubos de centrífuga de 100ml;
- g- O bécker é enxaguado duas a três vezes, e o enxágüe colocado nos tubos de centrífuga (balanceados);
- h- Centrifugam-se os tubos à 1250 rpm por 3 minutos;
- i- Retira-se o sobrenadante e ressuspendem-se os pellets com solução de sulfato de zinco;
- j- Centrifugam-se os tubos à 1250 rpm por 3 minutos;
- k- A película formada de sulfato de zinco é, cuidadosamente, retirada e colocada em erlenmeyer de 500ml, diluída com água deionizada, coberta e deixada para sedimentar por 3 horas ou “overnight”;
- l- Retira-se o sobrenadante acima da camada do material sedimentado;
- m- O sedimento é ressuspenso por rotação e transferido para tubos cônicos de centrífuga de 15 ml, juntando o material de enxágüe;
- n- Centrifuga-se à 1400 rpm por 3 minutos;
- o- Os pellets são ressuspenso com solução de ácido-álcool (como protozoários), enchendo metade do tubo e adiciona-se 3ml de éter. Inverte-se o tubo, devidamente tampado, diversas vezes, para misturar as soluções e os pellets ressuspenso;
- p- Centrifuga-se a 1800 rpm por 3 minutos;

- q- Retira-se as soluções ácido-álcool e éter, e inverte-se o tubo sobre um papel toalha para impedir que as soluções retornem ao tubo;
- r- Os pellets são ressuspensos em solução 0.1% de ácido sulfúrico e colocados em tubos Nalgene, devidamente tampados;
- s- Os tubos são incubados por 6 semanas a 26 °C;
- t- Um dos tubos deve ser controlado com ovos de *Ascaris suum*, e incubado juntamente aos tubos com as amostras;
- v- Os concentrados são examinados ao microscópio, utilizando-se Câmara de Sedgwick-Rafter ou lamínulas:

Viabilidade: para determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris*, foram adotados dois critérios ao longo do desenvolvimento do trabalho. Inicialmente, foi adotado o critério de GHIGLIETTI et al. (1995):

Ovos Viáveis	Ovos não Viáveis
<ul style="list-style-type: none"> Estruturas intactas com cobertura contínua e simétrica. Contínuo desenvolvimento do ovo em mais de um estágio, como células gêmeas, mórula, gástrula e larva. Diferenciação entre cada estágio, dada uma sequência de maturação. 	<ul style="list-style-type: none"> Estruturas pobremente definidas. Vacuolização do citoplasma e condensação celular. Ovo em estágio unicelular com citoplasma granulado e vacuolizado. Contração, ruptura e perda da continuidade da membrana.

Devido à dificuldade e morosidade em aplicar-se os critérios de GHIGLIETTI et al. (1995), depois de realizados três experimentos de cinética no reator batelada, optou-se por considerar como viáveis os ovos que alcançam o estágio de larva (ovos potencialmente infectivos) sendo neste caso, a fração de ovos viáveis de *ascaris* é expressa pela razão: número de ovos em estágio de larva/número total de ovos de *ascaris* contados.

Para a determinação da precisão e exatidão do método de análise da viabilidade dos ovos de *Ascaris* em amostras de biossólido digerido, foram tomadas 13 amostras, de 150 ml cada, de biossólido digerido. Em seguida, foi adicionado 0,24

ml da solução padrão, 40 ovos// μ l, em cada uma das 10 amostras de biossólido, obtendo-se amostras com uma concentração de 64 ovos/ml. Duas amostras de biossólido foram utilizadas como branco (amostras não semeadas), e uma amostra de biossólido foi utilizada para determinação do percentual de sólidos totais (ver procedimento no item 4.2.5).

Às doze amostras de biossólido, foi aplicado o método de YANKO (1987), com ligeiras adaptações (item 4.2.4). O volume total dos concentrados resultantes das amostras foi lido em câmara de Sedgwick-Rafer (capacidade 1ml), microscópio com aumento de 100 vezes, adicionando-se corante lugol (solução de iodo), sendo os ovos reportados como ovos de *Ascaris* com larva (viáveis) e ovos sem larva (inviáveis).

4.2.5 - Procedimento para determinação do percentual de sólidos totais (Standard Methods):

- a- Calcinar a cápsula de porcelana (130 ml), na mufla, a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ por 1 hora;
- b- Deixar esfriar em dessecador;
- c- Tarar, anotando o peso, P_o ;
- d- Retirar uma alíquota de amostra e passar para bécker de 600ml;
- e- Manter a amostra sob agitação;
- f- Retirar, com balão volumétrico ou pipeta volumétrica, um volume pré-determinado de amostra;
- g- Transferir para a cápsula;
- h- Transportar, manuseando com luvas, a cápsula até a estufa;
- i- Deixar em estufa à $103-105^{\circ}\text{C}$ até atingir peso constante (24 horas);
- j- Retirar a cápsula da estufa, com o auxílio de pinça Mohr, e deixar esfriar em dessecador;
- l- Pesar e anotar o peso P_1 .

A concentração de sólidos totais (ST) é calculada como:

$$ST(\text{mg} / \text{L}) = \frac{P_1 - P_o}{Vol.amostra(L)} \cdot 1000 \quad (41)$$

4.3 - CINÉTICA DE INATIVAÇÃO TÉRMICA DE OVOS DE *ASCARIS SUUM*

A cinética de inativação térmica de ovos de *Ascaris suum* foi estudada em reator batelada com troca direta e indireta de calor. No reator Batelada com troca indireta de calor, foi realizado apenas um experimento, já no reator batelada com troca direta de calor, foram realizados quatro experimentos, devido às várias dificuldades encontradas para a determinação da cinética dessa reação.

4.3.1 - Reator batelada com troca indireta de calor

O sistema consiste, basicamente, de um reator cilíndrico de aço inox, com volume de 17 litros, munido de um agitador e um termostato digital, imerso em um tanque de aço inox de 300 litros, cheio de água, sendo a água do tanque aquecida pela injeção direta de vapor, fornecido por uma caldeira de laboratório (produção vapor 16 kg/h). Pela transferência de calor por convecção, basicamente, o biossólido é aquecido no interior do reator. As Figuras 3 e 4 mostram o esquema e a foto do sistema construído no Centro Internacional de Referência em Reuso de Água – CIRRA.

Figura 3 - Reator batelada com injeção indireta de vapor.

Figura 4 - Foto do reator batelada com troca indireta de calor.

4.3.1.1 - Equipamentos

4.3.1.1.1 - Agitador mecânico, marca FISATOM, modelo 715, capacidade 20 litros.

4.3.1.1.2 - Reator batelada aço inox 304, capacidade 17 litros.

4.3.1.1.3 - Caldeira geradora de vapor, marca DOMEL, modelo VSEV 16, capacidade 16Kg/h de vapor saturado (ver Figura 5).

Figura 5 - Caldeira utilizada para gerar vapor saturado para aquecer os reatores.

4.3.1.1.4 - Indicador microprocessado, marca NOVUS, modelo N480i.

4.3.1.1.5- Pt-100, marca NOVUS, modelo N/S294673.

4.3.1.1.6- Equipamento para troca indireta de calor, tanque aço inox 304, capacidade 300 litros.

4.3.1.1.7- Autoclave, marca PHOENIX, tipo vertical, modelo AV50, capacidade 50 litros (ver Figura 6).

Figura 6 - Autoclave vertical, utilizado para esterilizar o biossólido digerido, proveniente do UASB.

4.3.1.2- Experimento no Reator batelada com troca Indireta de calor

O biossólido digerido, retirado do reator anaeróbio – UASB, foi colocado em um balão volumétrico de 12 litros, tapado com gaze e submetido à autoclavagem a 120°C, por 30 minutos. Após o biossólido ser esterilizado e ter esfriado à temperatura ambiente, foi carregado 12,5 litros no reator batelada, que, em seguida, foi imerso no tanque com água.

Injetou-se vapor saturado na pressão de 6 kgf/cm² e temperatura de 164°C, na água do tanque, até que a temperatura desejada fosse obtida no biossólido contido no

reator, sendo este monitorado por um termostato. Retirou-se, em cada ensaio, 100ml de amostra para determinação de sólidos totais no biossólido.

Na etapa seguinte, os ovos de *Ascaris suum* da solução padronizada foram adicionados na concentração aproximada de 500 ovos de *Ascaris*/ grama de sólido seco, supôs-se que o biossólido iria conter 3% de sólidos.

Um minuto após os ovos terem sido adicionados (tempo necessário para homogeneização da concentração), foram coletados 50 ml de amostra de biossólido para determinação da fração de ovos viáveis de *Ascaris* “branco”.

A influência da temperatura na cinética de reação foi determinada, realizando-se o mesmo experimento acima descrito, ou seja, concentração inicial de helmintos de 500 ovos viáveis/g, sólido seco e tempos de detenção na faixa de 5 a 150 minutos, para temperaturas de 45 a 85 °C com intervalo de 5 °C.

Foram realizados nove ensaios neste intervalo de temperaturas, com as seguintes coletas de 50 ml de amostras de biossólido, em intervalos de 5 em 5 minutos (Tabela 19):

Tabela 19 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca indireta de calor.

Temperatura °C	Tempo de coleta da amostra, com intervalos de 5 em 5 minutos (min)	Total de amostras coletadas
45	30 a 150	25
50	40 a 140	22
55	20 a 140	25
60	25 a 140	24
65	10 a 135	26
70	5 a 60	12
75	5 a 50	10
80	5 a 45	9
85	5 a 40	8

A fração de ovos de *Ascaris* viáveis em cada amostra foi determinada, aplicando-se o método de Yanko (Ver item 4.2.4).

Em seguida, pipetou-se 200 μl dos concentrados incubados em lamínulas, às quais adicionou-se corante; as leituras foram feitas em microscópio.

Os critérios adotados para determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris* foram os de GHIGLIETTI et al. (1995).

A fração de ovos de *Ascaris* viáveis foi calculada como: número de ovos viáveis de *Ascaris* dividido pelo número total de ovos de *Ascaris* contados.

4.3.2 – Reator batelada com troca direta de calor

O sistema consiste, basicamente, de um reator cilíndrico de aço inox, com capacidade de 17 litros, munido de um agitador e um termostato digital. O reator é aquecido pela injeção direta de vapor no biossólido, contido no interior do reator. O vapor é fornecido por uma caldeira de laboratório (produção vapor 16 kg/h). A troca térmica ocorre por condensação do vapor no biossólido, acarretando efeito de diluição do mesmo. As Figuras 7 e 8 mostram o esquema e a foto desse sistema.

Figura 7 - Reator batelada com troca direta de calor.

Figura 8 - Foto do Reator batelada com troca direta de calor.

4.3.2.1 - Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram os do reator batelada com troca indireta de calor, item 4.3.1.1, com exceção do equipamento para troca de calor, tanque de aço inox 300 litros, item 4.3.1.1.6.

4.3.2.2 - Experimentos no reator batelada com troca direta de calor

Neste sistema, foram realizados quatro experimentos, devido à dificuldade em obter-se dados representativos da cinética de inativação térmica de ovos de *Ascaris*.

4.3.2.2.1 - Primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor

O biossólido digerido, retirado de um reator UASB, foi submetido a autoclavagem a 120°C, por 30 minutos. Após o biossólido ser esterilizado e ter esfriado a temperatura ambiente, foi carregado 12,5 litros no reator batelada. No reator batelada, munido de agitador de hélice (750 rpm) e um termostato para monitoramento da temperatura do biossólido, injetou-se vapor saturado (pressão 6kgf/cm² temperatura 164°C) até que a temperatura desejada fosse obtida no biossólido.

Retirou-se, em cada ensaio, 100ml de amostra para determinação de sólidos totais no biossólido.

Na etapa seguinte, os ovos de *Ascaris suum* da solução padronizada foram adicionados ao biossólido contido no reator, com o auxílio de uma pipeta volumétrica, na concentração aproximada de 500 ovos de *Ascaris*/ grama de sólido seco. Supôs-se que o biossólido iria conter 3% de sólidos.

Após os ovos terem sido adicionados, após 1 minuto (tempo necessário para homogeneização da concentração dos ovos no biossólido), foram coletados 50 ml de amostra de biossólido para determinação da fração de ovos viáveis de *Ascaris* “branco”.

Foram realizados nove ensaios, com as mesmas temperaturas e tempos de coleta de amostras de biossólido, para a determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris*, dos ensaios com reator batelada, com troca indireta de calor. Os procedimentos para análise de viabilidade de ovos de *Ascaris suum* e sólidos totais também são os mesmos do item 4.3.1.

A influência da temperatura na cinética de reação foi determinada, realizando-se o mesmo experimento do item 4.3.1, ou seja, concentração inicial de helmintos de 500 ovos viáveis/g, sólido seco e tempos de detenção na faixa de 5 a 150 minutos, para temperaturas de 45 a 85 °C, com intervalo de 5°C.

Em síntese, foi o mesmo experimento do item 4.3.1, porém com injeção direta de vapor no bio sólido, ao invés do uso de um tanque com água aquecida para trocar calor por condução com o bio sólido.

A fração de ovos de *Ascaris* viáveis em cada amostra foi determinada, aplicando-se o método de YANKO, 1987 (Ver item 4.2.4).

Em seguida, pipetou-se 200 μ l das amostras concentradas, incubadas em lâminulas, às quais adicionou-se corante lugol; as leituras foram feitas em microscópio.

A fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi determinada de acordo com os critérios adotados para a determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris* de GHIGLIETTI et al. (1995).

4.3.2.2.2 - Segundo experimento no reator batelada com troca direta de calor

No segundo experimento, utilizou-se o mesmo procedimento acima descrito, porém estudou-se a inativação a altas temperaturas, 70 a 90 °C. Foram realizados cinco ensaios, nesse intervalo de temperaturas, com as seguintes coletas de 50 ml de amostras de bio sólido conforme Tabela 20.

Tabela 20 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca direta de calor no segundo experimento.

Temperatura °C	Tempo de coleta da amostras (min)	Intervalo de tempo (min)	Total de amostras coletadas
70	80 a 880	40	21
75	80 a 600	40	14
80	50 a 380	15	22
85	60 a 240	10	19
90	10 a 160	10	16

Para leitura em microscópio, pipetou-se 100 μ l das amostras concentradas, incubadas em lamínulas, às quais adicionou-se corante.

A fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi determinada de acordo com os critérios adotados, para a determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris*, por GHIGLIETTI et al. (1995).

4.3.2.2.3 - Terceiro experimento no reator batelada com troca direta de calor

No terceiro experimento, substituiu-se o bio sólido digerido por água. O experimento é idêntico ao descrito no primeiro experimento, com exceção de que, além dos tempos de reação do primeiro experimento (Tabela 19), estudaram-se os seguintes tempos de reação para as temperaturas de 45 a 65 °C:

Tabela 21 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca direta de calor no terceiro experimento.

Temperatura °C	Tempo de coleta da amostras (min)	Intervalo de tempo (min)	Total de amostras coletadas
45	160 a 300	10	15
50	5 a 35	5	7
55	1 a 15	5	5
60	2 a 18	2	9
65	3 a 9	2	4

No terceiro experimento, o bio sólido é substituído por água no reator. A concentração de ovos de *Ascaris*, adicionada à água contida no reator, foi a mesma do primeiro experimento.

A fração de ovos de *Ascaris* viáveis em cada amostra foi determinada, centrifugando-se 50 ml de amostra, descartando o líquido sobrenadante. À porção

remanescente sedimentada, foi adicionada solução 0.1% de ácido sulfúrico, e colocada em tubos Nalgene, devidamente tampados. Os tubos foram incubados por seis semanas, à 26 °C.

Para leitura, em microscópio, dos tempos de reação versus temperaturas, idênticos ao primeiro experimento, pipetou-se 100 µl das amostras concentradas incubadas em lamínulas, às quais adicionou-se corante lugol. A fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi calculada como: a razão entre o número de ovos que alcançaram o estágio de larva e o número total de ovos de *Ascaris* contados.

Para leitura, em microscópio, das temperaturas versus tempos de reação da Tabela 21, utilizou-se câmara de Sedgwick-Rafter. Pipetou-se 1 ml das amostras concentradas incubadas na câmara, às quais adicionou-se corante. A fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi calculada como: a razão entre o número de ovos que alcançaram o estágio de larva e o número total de ovos de *Ascaris* contados.

4.3.2.2.4 - Quarto experimento no reator batelada com troca direta de calor

No quarto experimento, a concentração de ovos de *Ascaris* adicionada ao reator, com biossólido digerido, foi aumentada cinco vezes, ou seja, 2500 ovos de *Ascaris*/grama de sólido seco, admitindo-se biossólido com 3%. Sabendo-se que o volume de biossólido no reator é de 12,5 litros, e o volume de vapor condensado, utilizado para aquecer o biossólido até a temperatura desejada para o ensaio, é de, aproximadamente, 3 litros, a concentração de ovos no reator por unidade de volume é de, aproximadamente, 52 ovos/ml.

Foram realizados nove ensaios no intervalo de temperaturas de 45 a 85 °C, com as seguintes coletas de 50 ml de amostras de biossólido, em intervalos de 5 em 5 minutos:

Tabela 22 - Temperatura versus tempo de coleta de amostra, reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento.

Temperatura °C	Tempo de coleta da amostra, com intervalos de 5 em 5 minutos (min)	Total de amostras coletadas
45	30 a 150	25
50	30 a 150	25
55	40 a 140	21
60	5 a 140	30
65	5 a 135	27
70	5 a 60	12
75	5 a 50	10
80	5 a 45	9
85	5 a 40	8

Este experimento é idêntico ao primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor.

Para leitura, em microscópio, com aumento de cem vezes das amostras, utilizou-se câmara de Sedgwick-Rafter. Pipetou-se 1 ml das amostras concentradas incubadas na câmara, às quais adicionou-se corante. A fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi calculada como: a razão entre o número de ovos que alcançaram o estágio de larva e o número total de ovos de *Ascaris* contados.

Foram lidas, em microscópio, apenas as amostras nas temperaturas de 45, 50, 60, 65 e 70 °C. Para as demais amostras, não foi realizada leitura em microscópio, devido à não existência de ovos viáveis de *Ascaris* nessas temperaturas.

Para as amostras a 70°C, nos tempos de 1, 5, 10, 15 e 20 minutos, foi lido, em câmara de Sedgwick-Rafter, o volume total das amostras concentradas incubadas, com o objetivo de avaliar o grau de mistura completa dos ovos de *Ascaris* no reator batelada.

Todas as amostras foram tomadas no mesmo ponto na superfície do reator batelada.

4.4- REATOR TUBULAR PARA INATIVAÇÃO DE OVOS DE ASCARIS

O sistema consiste em um trocador de calor, que é um equipamento utilizado para transferir calor de um fluido para outro – aquecimento do biossólido - seguido por um tubo de retenção (trecho de tubulação não aquecido, em que o fluido fica tempo suficiente para garantir a letalidade aos ovos de *Ascaris*). O trocador de calor tubular duplo-tubo utilizado é o de mais simples construção, consistindo em dois tubos concêntricos, um dentro do outro. As paredes do tubo interno formam a superfície de troca de calor. Nas Figuras 9 e 10, é mostrado um esquema e uma foto do trocador de calor tubular duplo-tubo utilizado .

Figura 9 - Foto do trocador de calor tubular duplo-tubo, utilizado para inativar ovos de *Ascaris*, construído no CIRRA.

Figura 10 - Esquema do trocador de calor tubular duplo-tubo, utilizado para inativar ovos de *Ascaris*

4.4.1 - Equipamentos utilizados na modelagem do reator tubular

4.4.1.1 - Balança analítica eletrônica, marca QUIMIS, modelo Q-500L210C, precisão 0,0001 g.

4.4.1.2 - Condutivímetro, marca INATEC, modelo INL-30.

4.4.1.3 - Agitador mecânico, marca FISATOM, modelo 715, capacidade 20 litros.

4.4.1.4 - Autoclave, marca PHOENIX, tipo vertical, modelo AV50, capacidade 50 litros.

4.4.1.5 - Sistema de processamento composto de trocador tubular, com dois módulos de troca térmica (ver Figura- 10) na seção de aquecimento, de 1,8 m de comprimento cada um, com tubo interno de 6 mm de diâmetro externo, e interno de 4,5 mm, e tubo externo de diâmetro de 30 mm. Tubo de retenção, com o mesmo diâmetro do tubo interno do módulo de troca térmica, composto por quatro módulos de 1,8 m cada. No início e no final do tubo de retenção, há medida de temperatura. Tanque de alimentação de biossólido com capacidade de 30 litros. Uma bomba monofuso excêntrica, marca NETZSCH, modelo NM003BY11S12B, com variador de frequência, marca NETZSCH, modelo VTL-MICRO COD. 176F7301, foi acoplada aos módulos de troca térmica, para o bombeamento do biossólido e para a realização da limpeza do sistema. Um gerador de vapor, marca DOMEL, modelo VSEV16, forneceu vapor saturado para aquecer o sistema. Uma válvula solenóide, marca

ITEST, modelo R240, foi instalada e ligada a um controlador de temperatura, marca ITEST, modelo CTM-44, que foi conectado a um termopar tipo J, marca ITEST (ver Figura 12).

Figura 11 - Esquema de um módulo de troca térmica da seção de aquecimento do trocador tubular construído no CIRRA.

Figura 12 - Sistema de controle do trocador tubular construído no CIRRA.

4.4.1.6 - Série de peneiras de latão composta por 6 peneiras, marca GRANUTEST; com malha de aberturas 3,36 - 2,83 - 2,00 - 1,41 - 1,00 e 0,5 mm.

4.4.2 - Reator tubular com ovos de Ascaris em suspensão aquosa.

Novamente, o trabalho realizado apresentou uma série de obstáculos que foram superados. Foi necessário projetar e construir um reator tubular, para que o trabalho pudesse ser efetuado. Foi cotado, em várias empresas, o sistema de processamento contínuo de biossólido.

A empresa contratada para a confecção do sistema contínuo também fez toda a montagem do trocador, e de suas conexões com o sistema de aquecimento e com a bomba monofuso excêntrico. Foram feitas a ligação elétrica da bomba e a ligação desta com o variador de frequência.

A empresa contratada executou a instalação da válvula solenóide, que foi ligada ao controlador de temperatura, sendo este conectado a um termopar tipo J.

Os testes com água do sistema demonstraram a necessidade de se retirarem alguns vazamentos existentes nas conexões dos módulos de troca térmica. Sanados os vazamentos, foram iniciados os testes com o aquecimento e o resfriamento da água.

Inicialmente, foram realizados testes com água. O sistema não aquecia, sendo necessária a aquisição de um purgador de vapor, marca SPIRAX SARCO, modelo TDSL A, que foi instalado na saída do vapor saturado do trocador de calor. Na Figura 13, é mostrada uma foto do purgador de vapor instalado.

Figura 13 - Purgador de vapor instalado no trocador tubular construído no CIRRA.

Com a instalação do purgador de vapor, o sistema passou a aquecer em demasia, com temperaturas da ordem de mais de 100°C , assim como a apresentar comportamento muito instável em relação à temperatura do sistema. Observou-se, então, que o sistema de controle instalado não atendia às exigências do sistema. O controlador do sistema de controle do trocador tubular foi, então, desinstalado e substituído por uma válvula agulha manual, instalada na alimentação de vapor saturado ao trocador tubular. A grande instabilidade térmica do sistema continuava, então, foi necessário instalar um novo pressostato na caldeira, pois o sistema estava sendo operado com vapor saturado a 6 kgf/cm^2 e temperatura de 164°C . Com o novo pressostato, abaixou-se a pressão do vapor para 1 kgf/cm^2 e temperatura de 120°C . A grande instabilidade térmica do sistema diminuiu, consideravelmente, com a temperatura da água na saída do trocador tubular oscilando, no máximo, em torno de $1,5^{\circ}\text{C}$, durante os experimentos, para as condições de regime permanente.

Foi percebida a necessidade de se colocar um isolamento térmico no tubo de retenção, então, um tubo de polietileno foi adquirido para revesti-lo.

Através de medidas de vazão com proveta para várias frequências, da bomba de alimentação do trocador, foi construída a curva de calibração frequência da bomba versus vazão para a água.

Em todos os ensaios, um período de 2,5 vezes o tempo de detenção foi aguardado para que o sistema atingisse as condições de regime permanente.

4.4.2.1 - Distribuição do tempo de residência

Para a determinação da distribuição do tempo de residência, foi utilizada solução saturada de NaCl (36g/100ml de água). Foi, inicialmente, construída uma curva de calibração associando a concentração de cloreto de sódio à condutância.

Foi selecionada a temperatura de 60°C e as frequências de 20 e 50 rpm, para a bomba de alimentação correspondente às vazões de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, respectivamente, para determinação da DTR.

Para a vazão $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60 °C, injetou-se, instantaneamente, 10 ml de solução saturada de NaCl, com o auxílio de uma seringa, no início do tubo de retenção, e, em seguida, coletou-se amostras a cada 5 minutos, ou seja, primeira amostra obtida no tempo de 0 a 5 minutos, segunda amostra obtida de 5 a 10 minutos, e assim sucessivamente, até o tempo de 70 minutos, totalizando 15 amostras. Para cada amostra, determinou-se a condutância em condutivímetro

Para a vazão $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60 °C, injetou-se, instantaneamente, 10 ml de solução saturada de NaCl; coletou-se amostras a cada 3 minutos, até o tempo de 51 minutos, totalizando 18 amostras. Para cada amostra, determinou-se a condutância.

Portanto, nestes casos:

$$t_i = t_e + \frac{\Delta t_i}{2} \quad (42)$$

em que: t_e é o tempo de leitura experimental.

4.4.2.2 - Processamento contínuo

Para a inativação térmica contínua de ovos de *Ascaris* em solução aquosa, o tanque de alimentação do trocador tubular foi preenchido com solução, contendo 64ovos/ml. Para determinação da fração de ovos viáveis de *Ascaris* inicial (branco), foi coletado 50ml de amostra no tanque de alimentação.

Foram realizados experimentos nas vazões de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, para as temperaturas de 45, 50, 55, 60, 65 e 70°C. Sempre aguardando-se 2,5 vezes o tempo de detenção, em cada ensaio, realizado antes da coleta da amostra (condições de regime permanente).

Foram coletados 50ml de amostra em cada ensaio. As amostras coletadas foram analisadas para a determinação da fração viável de ovos de *Ascaris*, centrifugando-se 50 ml de amostra, descartando o líquido sobrenadante. À porção remanescente sedimentada, foi adicionada solução 0.1% de ácido sulfúrico e colocada em tubos Nalgene, devidamente tampados. Os tubos foram incubados por 6 semanas, à 26 °C.

Para leitura, em microscópio, das amostras, utilizou-se câmara de Sedgwick-Rafter. Pipetou-se 1 ml das amostras concentradas incubadas na câmara, às quais adicionou-se corante. A fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi calculada como: a razão entre o número de ovos que alcançaram o estágio de larva e o número total de ovos de *Ascaris* contados.

4.4.3 - Reator tubular com ovos de *Ascaris* em suspensão em biossólido digerido

Devido à grande variação, na granulometria, das partículas sólidas do biossólido digerido e à ausência de triturador para homogeneização do material particulado, o biossólido foi, inicialmente, peneirado em uma série de peneiras com granulometrias de 3,36 - 2,83 - 2,00 - 1,41 - 1,00 e 0,5 mm; para se evitar prováveis entupimentos no sistema.

5.4.3.1 – Distribuição do tempo de residência

Para a determinação da DTR, o procedimento foi idêntico ao da água (item 4.4.2.1), com a seguinte exceção:

Para a vazão $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60°C , injetou-se, instantaneamente, 10 ml de solução saturada de NaCl; coletou-se amostras a cada 3 minutos, até o tempo de 63 minutos, totalizado 21 amostras.

5.4.3.2 - Processamento contínuo

Para a inativação térmica contínua de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido, o tanque de alimentação do reator tubular foi alimentado com biossólido, contendo 64 ovos/ml. Foram coletados 50 ml de amostra, para a determinação do percentual de sólidos totais (ver item 4.2.5). Para determinação da fração de ovos viáveis de *Ascaris* inicial (branco), foram coletados 50 ml de amostra no tanque de alimentação.

Foram realizados experimentos nas vazões de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, para as temperaturas de 45, 50, 55, 60, 65 e 70 e 75°C . Sempre aguardando-se 2,5 vezes o tempo de detenção, para a coleta da amostra.

Foram coletados, em cada experimento, 50 ml de amostra, e a determinação da fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi realizada com a aplicação do método de Yanko (ver item 4.2.4).

Para leitura em microscópio, utilizou-se câmara de Sedgwick-Rafter. Pipetou-se 1 ml das amostras concentradas incubadas na câmara, às quais adicionou-se corante. A fração de ovos viáveis de *Ascaris* foi calculada como: a razão entre o número de ovos que alcançaram o estágio de larva e o número total de ovos de *Ascaris* contados.

4.4.4 - Modelagem matemática do reator tubular

Para modelagem matemática do reator tubular com tubo de retenção, foram propostos dois modelos.

O primeiro modelo, proposto por TOLEDO (1999), no qual o produto alcança, muito rapidamente, a temperatura de processo, sendo o pequeno valor da esterilização, na fase de aquecimento do processo, negligenciado. A esterilização ocorre no tubo de retenção, uma seção sem aquecimento do tubo, localizada no final do trocador de calor. Nesse caso, o sistema modelado - tubo de retenção – é um reator tubular isotérmico, com perfil de escoamento não ideal.

No segundo modelo proposto, considera-se o escoamento tubular ideal e o perfil axial de temperatura ao longo do trocador e tubo de retenção.

4.4.4.1 – Reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal

A informação da DTR é usada diretamente, ou em conjunto, com modelos de escoamento para prever o desempenho de reatores de escoamento real. O método usado depende, em grande parte, de poder o reator ser ou não considerado um sistema linear.

A DTR informa quanto tempo os vários elementos de fluido permanecem no reator, isto é, informa sobre a intensidade de mistura global no reator, mas não sobre a troca de material entre os elementos do fluido.

Um processo é linear se qualquer variação na grandeza do estímulo resultar em uma variação proporcional na grandeza da resposta (LEVENSPIEL, 1988).

$$\frac{\Delta(\text{resposta})}{\Delta(\text{estímulo})} = \frac{d(\text{resposta})}{d(\text{estímulo})} = K = \text{constante} \quad (43)$$

Os processos lineares têm uma propriedade muito importante: se um número de processos lineares independentes ocorrer simultaneamente em um sistema, o efeito global também será um processo linear. Além disso, o efeito global desses processos lineares individuais, ocorrendo, simultaneamente, em um sistema, pode ser analisado pelo estudo de cada um dos processos separadamente.

Para reações de primeira ordem, reações lineares, o conhecimento de quanto tempo cada molécula permanece no reator é tudo o que se precisa para prever a conversão; para reações que ocorrem entre as moléculas vizinhas, não é importante. Portanto, para reações de primeira ordem, tão logo a DTR seja determinada, pode-se prever a conversão que será alcançada no reator real, contanto que a velocidade

específica de reação, para a reação de primeira ordem, seja conhecida (FOGLER, 2002).

Um grande número de tipos de escoamento pode dar a mesma curva de saída do traçador. Entretanto, para processos lineares, todos resultam na mesma conversão; conseqüentemente, pode-se usar qualquer tipo adequado de escoamento para determinar as conversões, desde que o tipo selecionado dê a mesma curva de resposta do traçador que o reator real. O tipo de escoamento mais simples admite que cada elemento de fluido passe através do recipiente, sem se misturar com elementos adjacentes. A distribuição das idades do material na corrente de saída informa por quanto tempo cada um desses elementos individuais permanece dentro do reator. Assim, para o reagente N na corrente de saída,

$$\bar{N} = \int_0^{\infty} N_{elemento} E dt \quad (44)$$

em que $\bar{N}$ é a concentração média do reagente na corrente de saída, $N_{elemento}$ é a concentração do reagente em um elemento de idade entre t e $t+dt$ e E é a fração da corrente de saída, cuja idade está entre t e $t+dt$.

Para reações irreversíveis de primeira ordem, sem variação de densidade, a concentração do reagente em qualquer elemento varia com o tempo, da seguinte maneira:

$$\ln \frac{N_{elemento}}{N_0} = -kt \quad (45)$$

como $N_{elemento}$ é dada por:

$$N_{elemento} = N_0 e^{-kt} \quad (46)$$

tem-se que:

$$\bar{N} = N_0 \int_0^{\infty} e^{-kt} E dt \quad (47)$$

ou se a curva de distribuição só é conhecida em alguns valores discretos de tempo, tem-se:

$$\frac{N}{N_0} = \sum e^{-kti} E \Delta t_i \quad (48)$$

em que N/N_0 é a fração não convertida do reagente.

4.4.4.2 – Reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal

As hipóteses adotadas para a modelagem do reator tubular são:

- Perfil de velocidade radial plano (achatado) , sem dispersão axial;
- Perfil de temperatura axial.

Para o reator tubular aqui considerado, o trocador de calor, mais o tubo de retenção, o balanço de energia, considerando elemento diferencial de volume, resulta:

$$dq = dH \quad (49)$$

em que: dH é a mudança na entalpia entre a corrente que entra e sai do elemento de volume, dq é a taxa de calor transferida no elemento de volume diferencial.

A diferença de entalpia ocorre devido à mudança de temperatura dT , associada à reação. Se F é a taxa de vazão molal total através do reator e C_p é a capacidade calorífica (assumida constante) da mistura reagente:

$$dH' = FC_p dT + \Delta H_r (rdV) \quad (50)$$

em que rdV são os moles de reagente que desaparecem por unidade de tempo, no volume dV do reator, e ΔH_r é o calor de reação molal. Como para a reação de inativação de ovos de *Ascaris* $\Delta H_r \rightarrow 0$, tem-se:

$$dH' = FC_p dT \quad (51)$$

Para esta reação em questão, em que a estequiometria da reação é um para um, $F = \rho Q$, que é igual a vazão mássica.

$$dH' = \rho Q C_p dT \quad (52)$$

A taxa de calor transferida pode ser expressa em termos do coeficiente global U e da temperatura da vizinhança.

$$dq = U(T_{vz} - T) dA_h \quad (53)$$

Sendo dA_h a área efetiva de transferência de calor no elemento de volume igual a $\pi D dZ$, em que D é o diâmetro interno do tubo interno e Z é o comprimento do trocador. Substituído-se (51) e (52) em (49):

$$\rho Q C_p dT = \pi D (T_{vz} - T) U dz \quad (54)$$

Considerando-se o sistema trocador de calor e tubo de retenção como esquematizado na Figura 14:

Figura 14 - Esquema do trocador de calor contracorrente e tubo de retenção.

Em que T_o é a temperatura de entrada do produto, T_v é a temperatura do vapor, T_{ar} é a temperatura do ar, T_2 é a temperatura de saída do produto, Q é a vazão volumétrica de produto, L_1 é o comprimento do trocador de calor e L_2 é o comprimento do tubo de retenção.

Integrando-se a equação (54) na condição inicial $Z = 0$, $T = T_o$, na condição de contorno $Z = L_1$, $T = T_1$ e rearranjando os termos, obtém-se:

$$U_1 = -\frac{\rho Q C_p}{\pi D L_1} \ln \frac{(T_v - T_1)}{(T_v - T_o)} \quad (55)$$

fazendo-se a mesma coisa para as condições de contorno em $Z = L_1$, $T = T_1$ e em $Z = L_2$, $T = T_2$, tem-se:

$$U_2 = -\frac{\rho Q C_p}{\pi D (L_2 - L_1)} \ln \frac{(T_{ar} - T_2)}{(T_{ar} - T_1)} \quad (56)$$

Portanto, $T_{(z)}$ de $Z = 0$ até $Z = L_1$ é dada, integrando-se a equação (54) na condição inicial $Z = 0$; $T = T_o$ e em $Z = Z$; $T = T_{(z)}$:

$$T_{(z)} = T_o e^{\frac{-\pi D Z U_1}{\rho Q C_p}} \quad (57)$$

e $T_{(z)}$ de $Z = L_1$ até $Z = L_2$ é dada, integrando-se a equação (54) na condição inicial $Z = L_1$; $T = T_1$ e em $Z = Z$; $T = T_{(z)}$:

$$T_{(Z)} = T_1 e^{\frac{-\pi D U^2 (Z-L1)}{\rho Q C_p}} \quad (58)$$

Partindo-se da equação de projeto para o reator tubular, em que X_N é o grau de conversão da reação (morte térmica de ovos de Ascaris), tem-se:

$$\frac{d X_N}{dV} = - \frac{R_N}{F_{N0}} \quad (59)$$

Substituindo-se a equação (18) e as equações:

$$F_{N0} = N_0 Q \quad (60)$$

em que F_{N0} é a vazão mássica de ovos de Ascaris e

$$N = N_0 (1 - X_N) \quad (61)$$

Na equação (59), e fazendo dV igual $\pi D^2 dZ/4$ tem-se:

$$\frac{d X_N}{dZ} = \frac{\pi D^2 k}{4Q} (1 - X_N) \quad (62)$$

substituindo-se a equação (22) em (62):

$$\frac{d X_N}{dZ} = \frac{\pi D^2 k_0 e^{-E/RT} (1 - X_N)}{4Q} \quad (63)$$

Sendo X_N ao longo do reator dado pelo método de diferenças finitas por:

$$X_N(z + \Delta z) = X_N(z) + \frac{d X_N}{dZ} \Delta Z \quad (64)$$

Lembrando-se que X_N é dado em termos da concentração de reagentes por:

$$X_N = 1 - \frac{N}{N_0} \quad (65)$$

ou:

$$N = N_0 - X_N N_0 \quad (66)$$

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - VIABILIDADE DOS OVOS DE ASCARIS UTILIZADOS

Nas Figuras 15 e 16, são mostrados respectivamente os ovos de *Ascaris* que alcançaram o estágio de larva (viáveis), e os que não alcançaram o estágio de larva (inviáveis).

Figura 15 - Ovo de *Ascaris suum* que alcançou o estágio de larva (viável).

Figura 16 - Ovo de *Ascaris suum* que não alcançou o estágio de larva (inviável).

A Tabela 23 mostra os resultados obtidos na contagem de ovos de *Ascaris* com e sem larva, nas 10 amostras realizadas, para a solução padronizada de ovos de *Ascaris*; solução esta que foi utilizada como fonte de ovos de *Ascaris* em todos os experimentos realizados neste trabalho.

A média μ calculada da % de viabilidade é 79,3%, e o percentual do coeficiente de variação é dado pela equação (39):

$$\%CV = \frac{21,8 * 100}{79,3}$$

$$\%CV = 28$$

Logo, 79% dos ovos da solução padronizada são viáveis, alcançam o estágio de larva, e a variação da viabilidade média é de 28%, em torno de 79%.

A viabilidade dos ovos utilizados nos experimentos pode ser considerada satisfatória para a execução do trabalho, pois apenas 21% dos ovos utilizados não alcançam o estágio de larva (inviáveis). A viabilidade dos ovos utilizados nos ensaios pode, portanto, ser considerada alta.

Tabela 23 - Viabilidade dos ovos de *Ascaris* da solução padronizada utilizada nos experimentos

Lamínulas	Número de ovos de <i>Ascaris</i> com larva	Número de ovos de <i>Ascaris</i> sem larva	% Viabilidade
1	177	40	81,57
2	1143	205	84,79
3	587	107	84,59
4	813	263	75,55
5	140	87	61,67
6	418	86	82,93
7	242	67	78,31
8	220	74	74,83
9	266	53	83,39
10	208	36	85,45

5.2 - EXATIDÃO E PRECISÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA VIABILIDADE DE OVOS DE ASCARIS EM AMOSTRAS DE BIOSSÓLIDO DIGERIDO.

O procedimento de análise de viabilidade de ovos de *Ascaris* utilizado pode ser assumido como um processo físico-químico de separação sólido-sólido, em que os ovos de *Ascaris* encontram-se adsorvidos na superfície do material sólido, presente no biossólido digerido. Segue uma breve discussão dos procedimentos existentes, assim como sua eficiência quando utilizados para biossólido.

Os dois tipos de procedimentos mais comuns, usados para recuperar ovos de helmintos de fezes, biossólidos e solos, são flotação e sedimentação. Pela sua natureza, os procedimentos de sedimentação separam as partículas mais pesadas, incluindo ovos de helmintos das partículas mais leve da amostra. Conseqüentemente, o sedimento concentrado, recuperado no procedimento de sedimentação, contém partículas pequenas e densas, que se concentram, de maneira similar, aos ovos de

helmintos, e isso torna o exame microscópico do sedimento difícil (BOWMAN et al., 2003).

Quando o procedimento de flotação é usado, muitas dessas pequenas partículas, que são mais densas que os ovos de *Ascaris*, não sobem para a solução flotada e são eliminadas.

Segundo BOWMAN et al. (2003), por meio de uma série de experimentos, notou-se que o procedimento de flotação trabalha melhor com biossólido do que o procedimento de sedimentação.

Os procedimentos de flotação utilizam soluções de sucrose ou sais metálicos, que têm gravidade específica maior do que os ovos de helmintos, com o objetivo de separar os ovos de partículas mais pesadas do biossólido.

Conforme BOWMAN et al. (2003), que testaram sucrose e uma variedade de soluções salinas, incluindo NaCl, CaCl₂, NaNO₃, MgSO₄, ZnSO₄ e HgI₂, a sucrose foi difícil de se usar, devido à sua consistência, alta viscosidade, requerendo tempos de centrifugação maiores para se obter separação equivalente. Algumas das soluções salinas não trabalham bem, porque tendem a precipitar quando expostas a detergentes durante o processo. Tanto o MgSO₄ como o ZnSO₄ trabalham bem, e a solução para cada um, com gravidade específica de 1,2, foi encontrada como aceitável.

O procedimento de análise, que foi desenvolvido para detectar ovos, utiliza várias etapas antes da etapa de flotação. Estas incluem uma diluição inicial da amostra em água, homogeneização por mistura e passagem através de peneira para remover partículas grandes. A sedimentação por gravidade é utilizada para separar as partículas mais pesadas das pequenas não desejáveis, partículas menos densas, tais como bactérias, e para eliminar material solúvel.

Um detergente aniônico é adicionado para lavar o sedimento, solubilizar o material orgânico e para ajudar a retirar os ovos que possam estar aderidos às partículas maiores. Há uma variedade de detergentes que podem ser utilizados, incluindo, Triton, tween 80 e 7X^R. Foi utilizado Tween 80, porque este apresenta boa recuperação de ovos e, quando utilizado ZnSO₄, não forma precipitado durante a mistura.

A recuperação dos ovos de helmintos da superfície da solução flotada é, geralmente, feita por um dos dois métodos. Em um deles, a camada superior da solução flotada é decantada em um recipiente; esta solução é diluída com água, para baixar os ovos, e, então, as partículas são coletadas no sedimento por sedimentação por gravidade ou centrifugação. No outro método, a solução flotada é passada através de uma peneira de 400 mesh, com poro de tamanho suficientemente pequeno para reter os ovos. Os ovos são, então, recuperados pela lavagem da peneira em um recipiente. O último método permite que partículas muito pequenas sejam eliminadas, visto que elas passam através da peneira e são descartadas. Isso reduz a quantidade de material particulado presente no sedimento que será examinado no microscópio. No presente trabalho, utilizou-se o primeiro método.

Os resultados obtidos para análise da precisão e exatidão do procedimento de YANKO (1987) aplicado são mostrados na Tabela 24.

Sintetizando a Tabela 24, para cada amostra analisada, obtém-se a Tabela 25.

Para as duas amostras de biossólido “branco”, amostras de biossólido digerido sem semear ovos de *Ascaris*, não foi encontrado nenhum ovo de *Ascaris* após análise em microscópio de todo o concentrado resultante da aplicação do procedimento de Yanko.

A exatidão do procedimento foi avaliada aplicando-se a equação (38):

$$\% RC_P = \frac{(2160 - 0) * 100}{50(ml) * 64(ovos / ml)}$$

$$\% RC_P = 67,5$$

Logo, a exatidão do método é de 67,5%, ou seja, 67,5% dos ovos semeados no biossólido foram recuperados após aplicação do procedimento. Este índice de recuperação pode ser considerado satisfatório, porém um pouco baixo, já que, segundo YANKO (1987), a exatidão desse procedimento é de, aproximadamente, 90%. A diferença obtida pode ser explicada devido às ligeiras adaptações feitas no procedimento, visando agilizar o procedimento, devido ao grande número de amostras que necessitavam ser processadas neste estudo.

Tabela 24 - Resultados da análise de precisão e exatidão do método de Yanko, aplicado a amostras de biossólido digerido.

Amostra	Lamínula	Nº ovos com larva	Número os sem larva	Número total de ovos	Fração de ovos com larva
1	1	423	119	542	0,78
	2	631	158	789	0,80
	3	583	174	757	0,77
	4	262	83	345	0,76
2	1	433	122	555	0,78
	2	516	113	629	0,82
	3	585	155	740	0,79
	4	492	94	586	0,84
3	1	478	127	605	0,79
	2	394	131	525	0,75
	3	541	181	722	0,75
	4	214	54	268	0,80
4	1	275	148	423	0,65
	2	577	144	721	0,80
	3	351	99	450	0,78
	4	376	100	476	0,79
5	1	499	133	632	0,79
	2	484	99	583	0,83
	3	315	74	389	0,81
	4	196	51	247	0,80
6	1	519	182	701	0,74
	2	332	88	420	0,79
	3	514	128	642	0,80
	4	275	87	362	0,76
7	1	446	133	579	0,77
	2	532	125	657	0,81
	3	336	89	425	0,79
	4	404	108	512	0,79
8	1	349	110	459	0,76
	2	618	145	763	0,81
	3	465	139	604	0,77
	4	197	66	263	0,75
9	1	362	85	447	0,81
	2	509	120	629	0,81
	3	452	86	538	0,84
	4	447	79	526	0,85
10	1	532	142	674	0,79
	2	407	122	529	0,77
	3	460	115	575	0,80
	4	242	57	299	0,81

Tabela 25 - Síntese dos resultados da análise de precisão e exatidão do método de Yanko aplicado a amostras de biossólido digerido.

Amostra	Número de ovos com larva	Número de ovos sem larva	Fração de ovos com larva	Número total de ovos
1	1905	537	0,78	2442
2	2033	477	0,81	2510
3	1632	488	0,77	2120
4	1573	497	0,76	2070
5	1500	351	0,81	1851
6	1636	489	0,77	2125
7	1717	456	0,79	2173
8	1609	480	0,77	2089
9	1776	364	0,83	2140
10	1641	436	0,79	2077
Média	1702,2	457,5	0,788	2160

A precisão do procedimento foi avaliada pela equação (40), para o número total de ovos nas 10 amostras processadas:

$$\% VD_M = \frac{566 * 100}{2160}$$

$$\% VD_M = 26,2$$

Logo, o número total de ovos de Ascaris, entre as 10 amostras processadas, varia em torno de 26%. O grau de reprodutibilidade dos dados no experimento é de 26%.

A variação da densidade média da fração de ovos com larva, equação (40):

$$\% VD_M = \frac{8,1 * 100}{78,8}$$

$$\% VD_M = 10,27$$

A fração de ovos vivos de uma amostra processada para outra varia em torno de 10%; o que pode ser considerada uma pequena oscilação. Já a variação da densidade média da fração de ovos com larva entre lamínulas de uma mesma amostra processada, calculada a média para as 10 amostras processadas, foi de 5%.

O teor de sólidos totais no biossólido digerido, utilizado para a determinação da exatidão e precisão foi de 25 g/l (2,5%).

Segundo BOWMAN et al. (2003), diferentes pesquisadores têm desenvolvido vários ensaios para ovos de helmintos, mas nenhum é universalmente aceito. Isso é devido, principalmente, à falta de publicação de controle de qualidade dos dados, para os protocolos usados por diferentes pesquisadores.

BEAN; BRABANTS (2001) reportam as taxas de recuperação de ovos de *Ascaris* de biossólidos, usando o ensaio dado em 1999, pela publicação da US EPA. Eles semearam esgoto bruto, biossólido com cal e biossólido compostado com ovos de *Ascaris lumbricoide* viáveis, e as taxas de recuperação foram 12,02%, 4,38% e 4,5%, respectivamente. Entretanto, somente um pequeno número de amostras foram processadas, e, dessa forma, o coeficiente de variação não pode ser calculado. Os autores também processaram outro conjunto de amostras que tinham uma inicial menor do que a requerida pelo guia da EPA; isto é, o volume de 450 ml versus 1L para esgoto bruto, e 50 g sólidos totais versus 300 g sólidos totais de biossólido com cal e compostado. A percentagem de recuperação de ovos de *Ascaris* foi quase duas vezes maior quando a amostra inicial de biossólido foi menor; 7,99% versus 4,38% para biossólido com cal e 9,61% versus 4,50% para biossólido compostado. Entretanto, para esgoto bruto, a taxa de recuperação foi mais alta, com maior amostra inicial, 12,02% versus 2,75%. O conteúdo de sólidos no esgoto bruto foi de 0,04%, no biossólido com cal, 66,6% e no biossólido compostado foi de 50,30%.

O tamanho inicial da amostra, requerido pelo ensaio da EPA, mostra que foi realmente menor o número de ovos recuperados. O tamanho inicial da amostra deve ser grande, dependendo dos propósitos da análise. Para monitorar biossólido classe A, a amostra inicial deve ser grande o suficiente para que um nível mínimo de detecção de 1 ovo/4 g de sólido seja encontrado. A quantificação definida pela EPA, em seu regulamento 503, foi 4 g de peso seco. O uso de uma amostra de tamanho

muitas vezes maior pode levar a uma menor taxa de recuperação, porque a grande quantidade de sólidos na amostra pode alterar a eficiência do procedimento durante as várias etapas. Para melhores resultados, é aconselhável que a amostra inicial de bio-sólido seja adicionada a um volume de água de, aproximadamente, 10 vezes ou mais o volume da amostra, a fim de se ter uma completa hidratação e homogeneização da amostra. É também difícil obter uma boa sedimentação dos sólidos quando o conteúdo de sólido é muito alto. Finalmente, se o conteúdo de sólido é muito grande, a quantidade de sedimento na etapa final do procedimento também será; o que torna muito difícil a visualização, no microscópio, dos ovos no sedimento.

No ensaio da EPA, o procedimento dado para exame da cultura sedimentada na câmara de Sedgwick-Rafter é incompleto e ambíguo. Não há orientação alguma de como carregar a câmara ou quanto da cultura sedimentada deve ser examinada para assegurar que a quantidade examinada representa um mínimo de 4 g de sólido da amostra de bio-sólido (BOWMAN et al.; 2003).

Há certos problemas inerentes na contagem de ovos de *Ascaris* em câmara de Sedgwick-Rafter. Na obtenção de amostra de um líquido contendo ovos de *Ascaris*, com a pipeta, precaução extra necessita ser tomada para assegurar sua representatividade da amostra. Como os ovos são muito mais densos do que a solução aquosa, eles sedimentam rapidamente após a solução ter sido misturada aleatoriamente. Se a amostra for tomada no topo ou no fundo do recipiente, o número de ovos da amostra não será representativo da verdadeira amostra aleatória. Em adição, na amostra pipetada para a célula, os ovos tendem a sedimentar na saída, por causa de sua densidade maior, não expandindo igualmente na célula. Se a totalidade da célula não for examinada, uma contagem parcial pode ser obtida.

Finalmente, os diferentes tipos de bio-sólido e bio-sólidos analisados por esse procedimento afetam a exatidão e precisão obtida pelo procedimento de Yanko.

5.3 - CINÉTICA DE INATIVAÇÃO TÉRMICA DE OVOS DE *ASCARIS SUUM* EM BIOSSÓLIDOS DIGERIDOS

5.3.1 - Reator batelada com troca indireta de calor

Após a aplicação do método de Yanko nas amostras, o concentrado resultante continha grande quantidade de sólidos; o que impossibilitava a visualização dos ovos de *Ascaris suum* nas amostras no microscópio em câmara de Sedgwick-Rafter. Optou-se, então, pela visualização, em microscópio, de 200µl do concentrado resultante em lamínulas.

Os resultados obtidos no reator batelada com troca indireta de calor, para os ensaios de viabilidade de ovos de *Ascaris* e a determinação do percentual de sólidos totais, encontram-se no Anexo A

Nas Figuras 17, 18 e 19, são mostrados gráficos da fração do número de ovos de *Ascaris* viáveis versus o tempo de reação para todas as temperaturas estudadas.

Figura 17 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 45, 50 e 55°C.

Figura 18 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 60, 65 e 70°C.

Figura 19 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 45, 50 e 55°C.

Na Figura 20, é apresentado o gráfico da inativação térmica dos ovos de *Ascaris* para todas as temperaturas estudadas.

Figura 20 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca indireta de calor nas temperaturas de 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 e 85 °C.

Na Figura 17, à temperatura de 45 °C, com o tempo de reação de 150 minutos, a fração de ovos viáveis era em torno de 50%. Na Temperatura de 50°C, em, aproximadamente, 120 minutos de reação havia ovos viáveis de *Ascaris*. Na temperatura de 55 °C, em menos de 50 minutos de reação, não havia mais ovos viáveis.

Na Figura 18, em 60°C, não foram detectados ovos viáveis de *Ascaris* em nenhum dos tempos de reação estudados, já na temperatura de 65°C, aparecem ovos viáveis em, aproximadamente, 40 minutos de reação; o que é um resultado controverso em relação à afirmativa anterior. Mais controverso ainda é a temperatura de 70°C apresentar ovos viáveis, com tempo de reação de 25 minutos. Isso se deve principalmente aos critérios de viabilidade adotados, critérios de GHIGLIETTI et al. (1995), devido a dificuldade encontrada em adotar como viáveis ovos que não se desenvolveram ao estágio de larva.

Nas temperaturas de 75, 80 e 85 °C, não foram encontrados ovos viáveis de *Ascaris* em nenhum dos tempos de reação estudados.

Analisando-se as Figuras 17 a 19, observa-se que como esperado não é possível visualizar um decréscimo linear na fração de ovos viáveis de *Ascaris* com o tempo de reação em todas as temperaturas estudadas.

A concentração de sólidos totais e a concentração média de ovos de *Ascaris* recuperados em cada ensaio, realizado em diferentes temperaturas, foram determinadas e os resultados encontram-se na Tabela A10 do Anexo A.

A correlação existente entre o número de ovos determinados na análise e a concentração de sólidos totais foi verificada. Na Tabela 26, encontram-se os coeficientes de correlação de Pearson para detectar a correlação linear e o coeficiente de correlação de Spearman para a correlação monotônica.

Tabela 26 – Número de ovos total/200 μ l com correlação significativa (nível de significância de 5%) com sólidos totais.

Nº ovos/200/ μ l	Tamanho da amostra	Coeficiente de correlação de Pearson	Coeficiente de correlação de Spearman
Total	167	-0,5400	-0,5535

No gráfico abaixo, pode-se observar a tendência de decaimento linear do número de ovos total recuperados com o aumento da concentração de sólidos no biossólido.

Figura 21 - Regressão linear do número total de ovos de *Ascaris* recuperado versus concentração de resíduo total no biossólido digerido para reator com troca indireta de calor.

Os dados ajustam-se à equação de uma reta a um nível de significância de 5%, com coeficiente angular de $-0,15045$ e coeficiente linear de $12,83018$. Logo, certamente, quanto maior a concentração de sólidos no biossólido, menor será o número de ovos de *Ascaris* recuperado pelo método de Yanko.

Como se pode observar pelos resultados obtidos na Tabela A10, o número médio de ovos de *Ascaris* recuperado/200 μ l em todos os ensaios realizados é de 6,74 ; que é um número muito baixo, para se determinar a fração de ovos viáveis de *Ascaris*. O baixo número de ovos recuperados torna totalmente parcial a fração calculada de ovos viáveis, visto que, no caso de, por exemplo, encontrar-se dois ovos, sendo um viável e outro inviável, a fração de ovos viáveis é de 50%, dois ovos são uma amostra muito pequena para representar todo o espaço amostral, no caso, todos os 160.000 ovos jogados no reator.

O baixo número médio de ovos encontrado nos ensaios pode ser atribuído ao pequeno volume de amostra, 200 microlitros, ao invés do determinado pelo método de Yanko, 1 mililitro, e a grande concentração de sólidos presentes no biossólido; o que dificulta a recuperação dos ovos e a pequena concentração de ovos jogada no reator para estudo, 12,8 ovos/ml.

Outro problema enfrentado foi a identificação em microscópio dos ovos de *Ascaris* viáveis, segundo os critérios de GHIGLIETTI et al. (1995), visto que esta se revelou de difícil execução, assim como muito demorada para ser realizada para um grande número de amostras. A difícil identificação gerou, em alguns casos, resultados parciais e discutíveis.

5.3.2 - Reator batelada com troca direta de calor.

Após efetuar-se o experimento, observou-se que o sistema sofria grande aumento de volume do reator; aproximadamente, um acréscimo de 16% no volume da mistura reacional, apenas para aquecer o biossólido até a temperatura desejada. Uma vez obtida a temperatura desejada, o volume reacional permanecia praticamente constante.

Conclui-se que é possível considerar que o sistema, durante o período de tempo de reação, manteve-se com volume constante. Portanto, a injeção direta de vapor no biossólido teve apenas um efeito de diluição na concentração de sólidos totais presentes no biossólido, assim como na concentração de ovos de *Ascaris* lançada no reator.

Para cinética de primeira ordem, a conversão é independente da concentração (FOGLER, 2002). Logo, a diluição na concentração de ovos de *Ascaris* não afeta a conversão no reator batelada com troca direta de calor, visto que a cinética de inativação térmica de ovos de *Ascaris* segue a cinética de primeira ordem.

5.3.2.1- Primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor

Após a aplicação do método de Yanko nas amostras, o concentrado resultante continha grande quantidade de sólidos; o que impossibilitava a visualização dos ovos de *Ascaris suum* nas amostras, no microscópio em câmara de Sedgwick-Rafter. Optou-se, então, pela visualização, em microscópio de 200/ μ l, do concentrado resultante em lamínulas.

Os critérios adotados para a determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris* foram os de GHIGLIETTI et al. (1995).

Os resultados obtidos no primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor, para a determinação da fração de ovos viáveis e determinação do percentual de sólidos totais, encontram-se no Anexo B.

Na Figuras 22, 23 e 24, são mostrados gráficos da fração do número de ovos de *Ascaris* viáveis versus o tempo de reação para todas as temperaturas estudadas.

Na Figura 22, observa-se que, na temperatura de 45°C, no tempo reacional de 150 minutos, ainda havia ovos viáveis de *Ascaris*. Nas temperaturas de 55 e 85 °C, não foram detectados ovos viáveis. Na temperatura de 50 °C, após o tempo de reação de 120 minutos, não se detectou mais ovos viáveis de *Ascaris*. Na temperatura de 55 °C, após o tempo de reação de 130 minutos, não se detectou mais ovos viáveis.

Figura 22 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45, 50 e 55°C no primeiro experimento.

Figura 23 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 60, 65 e 70°C no primeiro experimento.

Figura 24 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 75, 80 e 85°C no primeiro experimento.

Na Figura 23, na temperatura de 60 °C, observa-se um pico na fração de ovos viáveis no tempo de reação de 75 minutos. Na temperatura de 65 °C, após 90 minutos de tempo reacional, não foram mais observados ovos viáveis. Na temperatura de 70 °C, no tempo máximo de reação estudado, 50 minutos, ainda se observa ovos viáveis.

Na Figura 24, na temperatura de 75 °C, observam-se ovos viáveis apenas até o tempo de reação de 5 minutos. Na temperatura de 80 °C, não se observam ovos viáveis em nenhum dos tempos de reação estudados. Na temperatura de 85 °C, ocorrem ovos viáveis no tempo de reação de 15 minutos; o que é um resultado bastante controverso em termos dos resultados obtidos nos experimentos realizados, assim como na literatura consultada.

Analisando-se a Figura 25, observa-se que é possível visualizar um decaimento, aproximadamente linear, na fração de ovos viáveis com o tempo de reação apenas na temperatura de 50 °C.

A concentração de sólidos totais e a concentração média de ovos de *Ascaris* recuperados em cada ensaio realizado, em diferentes temperaturas, foram determinadas e os resultados encontram-se na Tabela B10 do Anexo B.

Figura 25 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 e 85 °C no primeiro experimento.

A correlação existente entre o número total de ovos de *Ascaris* recuperado e a concentração de sólidos totais presente no biossólido é apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 - Número de ovos/200ml com significativa correlação (nível de significância de 5%) com sólidos totais no primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor.

Nº ovos/200/ μ l	Tamanho da amostra	Coefficiente de correlação de Pearson	Coefficiente de correlação de Spearman
Total	167	-0,1900	-0,1777

Como esperado, também na inativação térmica com injeção direta de vapor, há um decréscimo no número de ovos total recuperado com o aumento da concentração de sólidos totais no biossólido.

Na Figura 26, a equação da reta estimada é mostrada para a relação número de ovos totais versus resíduo total. A equação da reta, estimada a um nível de significância de 5%, apresenta coeficiente linear de 22,2425 e coeficiente angular de $-0,3476$.

Figura 26 - Regressão linear do número total de ovos de *Ascaris* recuperado versus concentração de resíduo total no biossólido digerido para reator com troca direta de calor no primeiro experimento.

O baixo número médio de ovos encontrado nos ensaios pode ser atribuído ao pequeno volume de amostra lido, 200 μ l, ao invés do determinado pelo método de Yanko, 1 mililitro, à grande concentração de sólidos presente no biossólido; o que dificulta a recuperação dos ovos, e à pequena concentração de ovos jogada no reator para estudo, 10,3 ovos/ml.

Na amostra de 50 ml, que se aplicou o método de Yanko, havia 515 ovos, sendo que esta amostra, após a aplicação do método, resultou em um concentrado de, aproximadamente, 4 ml. Este concentrado apresenta concentração de 103 ovos/ml,

portanto, 200µl deste concentrado apresentará 20,6 ovos, que é o valor real de ovos que a amostras de 200µl deveriam apresentar.

Outro problema enfrentado foi a identificação em microscópio dos ovos de *Ascaris* viáveis, segundo os critérios de Ghiglietti, visto que, este se revelou de difícil execução, assim como muito demorada para ser realizada para um grande número de amostras. A difícil identificação gerou, em alguns casos, resultados parciais e duvidosos.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela B10, o número médio de ovos de *Ascaris* recuperado/200/µl, em todos os ensaios realizados, é de 11,92; o que representa uma concentração baixa de ovos para cálculo da fração de ovos viáveis. Entretanto, o número médio de ovos recuperados/200/µl, nos ensaios no reator batelada com troca direta de calor, é, aproximadamente, o dobro do número médio de ovos recuperados nos ensaios no reator batelada com troca indireta de calor. Essa diferença pode ser atribuída à concentração média de sólidos totais que, no experimento no reator batelada com troca indireta de calor, é de 37,66 g/l e, no primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor, é de 25,62 g/l. A alta concentração de sólidos totais dificulta a recuperação dos ovos.

5.3.2.2 - Segundo experimento no reator batelada com troca direta de calor

O segundo experimento foi realizado, admitindo-se que os resultados do primeiro experimento estavam corretos, e que resultados controversos, como a existência de ovos viáveis na temperatura de 85 °C e tempo de reação de 15 minutos, estavam corretos. Por isso, estudou-se a inativação térmica dos ovos a altas temperaturas.

No Anexo C, encontram-se os resultados obtidos no segundo experimento.

Nas Figuras 27, 28 e 29, encontram-se plotados, para cada temperatura estudada, a fração de ovos viáveis versus o tempo de reação.

Na Figura 27, observa-se, na temperatura de 70 °C, a presença de ovos viáveis nos tempos de reação de 80 e 560 minutos. Essa discrepância pode ser explicada pela utilização dos critérios de viabilidade GHIGLIETTI et al. (1995), em que a difícil

identificação dos vários estágios de desenvolvimento do ovo pode levar à identificação errônea, ou seja, identificar ovos não viáveis como viáveis.

Figura 27 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca direta de calor, nas temperaturas de 70 e 75 °C, no segundo experimento.

Figura 28 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca direta de calor, na temperatura de 80 °C, no segundo experimento.

Figura 29 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em reator batelada com troca direta de calor, nas temperaturas de 85 e 90 °C, no segundo experimento.

Em todas as demais temperaturas e tempos de reação estudados, não foi detectada a presença de ovos viáveis, ver Figuras 27, 28 e 29.

A concentração de sólidos totais e a concentração média de ovos de *Ascaris* recuperados em cada ensaio realizado, em diferentes temperaturas, foram determinadas, e os resultados encontram-se na Tabela C6 do Anexo C.

A correlação existente entre o número total de ovos de *Ascaris* recuperado e a concentração de sólidos totais presente no biossólido é apresentada na Tabela 28.

Tabela 28 - Número de ovos/100µl com significativa correlação (nível de significância de 5%) com sólidos totais no segundo experimento no reator batelada, com troca direta de calor.

Nº ovos/200/µl	Tamanho da amostra	Coefficiente de correlação de Pearson	Coefficiente de correlação de Spearman
Total	96	-0,4427	-0,4466

Como esperado, há uma alta correlação inversa entre sólidos totais e o número total de ovos recuperados/100/ μ l.

Na Figura 30, a equação da reta estimada é mostrada para a relação número de ovos totais versus resíduo total. A equação da reta, estimada a um nível de significância de 5%, apresenta coeficiente linear de 22,9994 e coeficiente angular de $-0,4731$.

Figura 30 - Regressão linear do número total de ovos de *Ascaris* recuperado versus concentração de resíduo total no biossólido, digerido para reator, com troca direta de calor no segundo experimento.

A concentração média de ovos recuperados/100/ μ l, para os ensaios realizados, foi de 14,02 ovos; o que é, aproximadamente, igual à concentração verdadeira de ovos lançada no reator 16 ovos/100/ μ l. Comparando-se esta com a concentração média de ovos do primeiro experimento no reator batelada com troca direta de calor, a primeira foi, aproximadamente, o dobro. Essa diferença pode, em parte, ser explicada pela menor concentração média de sólidos totais no segundo experimento 23,16 g/l, quando comparada com o primeiro experimento 25,62 g/l, no reator batelada com troca direta de calor.

5.3.2.3- Terceiro experimento no reator batelada com troca direta de calor

O terceiro experimento foi realizado, admitindo-se que os resultados do primeiro e segundo experimentos resultaram em grande dispersão dos dados, devido à baixa recuperação de ovos do método de Yanko na presença de sólidos. Por isso, no terceiro experimento estudou-se a inativação térmica dos ovos de *Ascaris* em água, e adotou-se outro critério para a viabilidade. Os critérios adotados para determinação da viabilidade dos ovos de *Ascaris* de GHIGLIETTI et al. (1995) geravam resultados discutíveis, devido à dificuldade e à morosidade em identificarem-se estruturas intactas, assim como os diferentes estágios de desenvolvimento dos os de *Ascaris suum*. Foram adotados como viáveis os ovos de *Ascaris* que alcançaram o estágio de larva; este critério acabou com resultados duvidosos e acarretou rapidez na contagem dos ovos em microscópio.

No Anexo D, encontram-se os resultados obtidos no terceiro experimento. No ensaio de inativação térmica realizado a 75 °C Tabela D7, não foram encontrados ovos de *Ascaris*, provavelmente, devido a erro no ensaio. Este foi desconsiderado do estudo.

Nas Figuras 31, 32 e 33, encontram-se a plotagem, para cada temperatura estudada, a fração de ovos viáveis versus o tempo de reação.

Figura 31 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45 e 50 e 55 °C.

Figura 32 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 60, 65 e 75 °C.

Figura 33 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 80 e 85 °C.

Na Figura 31, pode-se observar o decaimento da fração de ovos viáveis de *Ascaris* com o tempo de reação para as temperaturas de 45, 50 e 55°C. É possível observar também que um aumento de 5°C na temperatura reacional afeta muito a taxa de morte de ovos de *Ascaris*, caracterizando a alta sensibilidade dessa reação à temperatura, no intervalo estudado.

Nas Figuras 32 e 33, nota-se que, nas temperaturas de 60, 65, 75, 80 e 85 °C, não foram detectados ovos viáveis de *Ascaris* em nenhum dos tempos reacionais estudados.

Para verificar se os dados obtidos de inativação térmica de ovos de *Ascaris suum* nas temperaturas de 45, 50 e 55 °C seguem cinética de primeira ordem, aplica-se a equação (21) e submete-se esta à regressão linear, obtendo-se as equações de retas ajustadas mostradas na Tabela 29.

Tabela 29 - Equação de regressão linear estimada para N/N_0 versus tempo reacional para a água nas temperaturas de 45, 50 e 55 °C, a um nível de significância de 0,05

Temperatura °C	Tamanho da amostra	Coefficiente angular -K(min ⁻¹)	Coefficiente de correlação ao quadrado
45	40	-0,00116	0,7796
50	18	-0,04000	0,8555
55	3	-1,32850	0,9997

Como os dados ajustam-se a equações de retas com coeficiente linear igual a zero, a um nível de significância de 5%, seguem cinética de primeira ordem, e o coeficiente angular da reta é a constante específica de taxa de morte.

O valor absoluto da constante específica de taxa de morte ou constante específica de reação é uma medida da resistência térmica do organismo. Quanto menor esse valor, mais resistente é o organismo à inativação térmica. Observa-se, na Tabela 30, que a 55 °C os ovos de *Ascaris* são muito menos resistentes à inativação térmica do que a 45 °C.

Nas Figuras 34, 35 e 36, são mostradas as equações das retas ajustadas aos dados para as temperaturas de 45, 50 e 55 °C.

Observa-se que as constantes específicas de taxa de morte de ovos, no intervalo de temperaturas de 45 a 55 °C, são muito sensíveis à temperatura. De 45 para 50 °C, a taxa de reação aumenta 34,5 vezes e, de 50 para 55 °C, a taxa de reação aumenta 33,2 vezes. Já no intervalo de temperaturas de 45 a 55 °C, a taxa de reação aumenta 1.145 vezes.

Figura 34 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 45°C para ovos de *Ascaris* em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor.

Figura 35 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 50°C para ovos de *Ascaris* em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor.

Figura 36 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 55°C para ovos de *Ascaris* em água no terceiro experimento em reator batelada com troca direta de calor.

Aplicando-se a equação (23), as constantes específicas de morte versus temperaturas, e fazendo-se a regressão linear dos dados, obtém-se a equação de uma reta a um nível de significância de 0,05, Equação de Arrhenius:

$$\ln k = 223,8 - \frac{73360,8}{T}$$

Na Figura 37, mostra-se a plotagem da Equação de Arrhenius ajustada aos dados.

Figura 37 - Efeito da temperatura na perda da viabilidade de ovos de *Ascaris suum* em água em reator batelada com troca direta de calor, representação da Lei de Arrhenius.

Entre 45 e 55 °C, a taxa de perda de viabilidade aumenta exponencialmente, com o aumento da temperatura. Como os dados ajustam-se a equação de uma reta, a um nível de significância de 0,05, estes seguem a Equação de Arrhenius.

De acordo com a equação (22)

$$k = 1,567 \cdot 10^{97} e^{\frac{-73360,8}{T}}$$

Como:

$$\frac{-E}{R} = -73360,8 \text{ K}$$

R a lei da constante ideal de um gás é igual a 8,319J/K/mol:

$$E = 610,3 \text{ kJ/mol}$$

ou

$$E = 145,9 \text{ kcal/mol}$$

O ângulo E/R mede a susceptibilidade do organismo ao calor, sendo uma propriedade específica do organismo. A energia de ativação E foi interpretada por Arrhenius como o excesso de energia que o reagente precisa possuir para que a reação ocorra. A energia de ativação positiva indica um aumento na taxa de reação com o aumento da temperatura. A constante da Equação de Arrhenius tem a mesma dimensão da constante específica de velocidade, ou seja, min^{-1} .

Em geral, quanto mais elevada a temperatura necessária para que ocorra a reação, maior o valor da energia de ativação. Reações altamente endotérmicas apresentam um valor elevado de energia de ativação (LATHAM, 1974).

Segundo REDDISH (1957), o calor de ativação E , geralmente, está na faixa de 50 a 100 kcal/Mol para a maioria dos esporos e microrganismos resistentes.

PIKE; CARRINGTON (1983) determinaram a energia de ativação de ovos de *Taenia saginata* em suspensão salina, no intervalo de temperaturas de 40 a 60 °C, como sendo igual a 78,8 kcal/mol.

O valor obtido para a energia de ativação de ovos de *Ascaris suum*, no intervalo de temperatura de 45 a 55 °C, de 145,9 kcal/mol é maior que o valor obtido para ovos de taenia, e maior do que o necessário para matar esporos e organismos resistentes.

Calculando-se alguns parâmetros que definem a resistência térmica dos ovos de *Ascaris* em água, o tempo de redução decimal D , equação (24):

$T = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$D = \frac{2,3026}{0,00116}$	$D = 1985 \text{ min}$	$D = 33\text{h}5 \text{ min}$
$T = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$D = \frac{2,3026}{0,04}$	$D = 57,6 \text{ min}$	

$$T = 55\text{ }^{\circ}\text{C} \quad D = \frac{2,3026}{1,3285} \quad D = 1,7\text{ min}$$

Ou seja, o tempo necessário para reduzir, em dez vezes, a concentração de ovos viáveis de *Ascaris* em água é igual 33 horas, a 45 °C, 58 minutos, a 50 °C, e 1,7 minutos, a 55°C.

O valor de $Q10$, equação (25), mostra a dependência da temperatura das reações biológicas.

$$\ln(Q10) = 73360 * 10 \left[\frac{1}{328,15 * 318,15} \right]$$

$$Q10 = 1.119$$

Logo, a constante específica de taxa de morte k muda 1.119 vezes com a variação de 10°C (intervalo de 45 a 55°C).

O valor de z , equação (26), representa a dependência da temperatura da taxa de inativação:

$$z = \frac{10 \ln(10)}{7,02} \quad z = 3,28\text{ }^{\circ}\text{C}$$

ou seja, em 3,28 °C, a constante específica de taxa de morte muda por um fator de dez.

Sabendo-se que a concentração média aproximada de ovos de helmintos em biossólidos de Países Africanos é de 1000 ovos/l e considerando-se a diretriz da O M. S. para aplicação de esgoto em solos agrícolas de 1 ovo/l de helminto; tem-se a inativação térmica de 99,9% dos ovos viáveis de *Ascaris*.

Com o auxílio da equação de Arrhenius, estimou-se, para as temperaturas de 45 a 60 °C, com intervalo de 1 °C, as constantes específicas de taxa de morte. Substituindo-se os valores de k na equação (20), determinou-se o tempo necessário para 99,9% de inativação dos ovos de *Ascaris*.

Na Figura 38, mostra-se um gráfico com o ajuste dos dados. Por meio deste gráfico, é possível visualizar, em cada temperatura, qual o tempo necessário para 99,9% de inativação de ovos de *Ascaris* em água.

Figura 38 - Estimativa das combinações tempo-temperatura necessárias para inativação térmica de 99,9% de ovos de *Ascaris* em água no intervalo de temperaturas de 45 a 60 °C.

Com os dados da Figura 38, é possível visualizar, em cada temperatura, qual o tempo necessário para 99,9% de inativação de ovos de *Ascaris* em água. Por exemplo, a 52 °C são necessários aproximadamente 43 minutos para inativar 99,9% dos ovos viáveis de helmintos.

O número médio de ovos recuperados da água (ver Tabela D10) é igual a 42,1 ovos/100/ μ l e 78,7 ovos/ml. Para uma concentração real do concentrado de 20,6 ovos/200/ μ l, observa-se que a concentração média de ovos recuperados nas amostras de 100/ μ l são, aproximadamente, quatro vezes maiores do que a concentração real no concentrado. Isso pode ser explicado pela alta densidade dos ovos de *Ascaris* que sedimentam rapidamente, após o concentrado ter sido misturado aleatoriamente, antes de pipetar para leitura em câmara de Sedgwick-Rafter. As amostras de um

mililitro apresentaram número médio de ovos recuperados, cerca de 24% menores que o valor real do concentrado.

O alto número médio de ovos recuperados neste experimento deve-se à ausência de sólidos.

5.3.2.4- Quarto experimento no reator batelada com troca direta de calor

O quarto experimento foi realizado, sabendo-se que um aumento de cinco vezes na concentração de ovos no biossólido, somado a uma diluição do biossólido e diminuição do teor de sólidos totais, acarretaria maior concentração de ovos de *Ascaris* na câmara de Sedwick-Rafter para leitura em microscópio. Com grande concentração de ovos de *Ascaris* na câmara de leitura em microscópio, a fração de ovos viáveis calculada pode ser adotada com confiabilidade.

No Anexo E, encontram-se os resultados obtidos no quarto experimento. No ensaio de inativação térmica realizado na temperatura de 70 °C, foi lido o volume total das amostras, apenas nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Essas amostras foram lidas para avaliar as condições de mistura completa no reator batelada. Nos demais tempos estudados, na temperatura de 70 °C, não foram lidas as amostras em microscópio, devido à não existência de ovos viáveis de *Ascaris* nessa temperatura.

Nos ensaios de inativação térmica, realizados às temperaturas de 75, 80 e 85 °C, não foram lidas as amostras em microscópio, devido à não existência de ovos viáveis nessas temperaturas.

Nas Figuras 39 e 40, encontram-se plotados, para cada temperatura estudada, a fração de ovos viáveis versus o tempo de reação.

Na Figura 39, pode-se observar o decaimento da fração de ovos viáveis de *Ascaris* com o aumento do tempo reacional para as temperaturas de 45, 50 e 55 °C.

Na Figura 40, nota-se, para a temperatura de 60 °C, o rápido decaimento da fração de ovos viáveis com o tempo de reação. Na temperatura de 65 °C, não foi observada, em nenhum dos tempos reacionais estudados, a presença de ovos viáveis.

Figura 39 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 45 e 50 e 55 °C.

Figura 40 - Inativação térmica de ovos de *Ascaris* em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor nas temperaturas de 60 e 65 °C.

Para se verificar se os dados obtidos de inativação térmica de ovos de *Ascaris suum*, nas temperaturas de 45, 50 e 55 °C, seguem cinética de primeira ordem, aplica-se a equação (21), e submetem-se estes à regressão linear, obtendo-se as equações de retas ajustadas, mostradas na Tabela 30.

Tabela 30 - Equação de regressão linear estimada para N/No versus tempo reacional para o biossólido nas temperaturas de 45, 50, 55 e 60 °C

Temperatura °C	Tamanho da amostra	Coefficiente angular -K(min ⁻¹)	Nível de significância
45	26	-0,000268	0,0644
50	26	-0,006772	0,0000
55	14	-0,045972	0,0000
60	4	-0,526769	0,0525

Como os dados ajustam-se a equações de retas com coeficiente linear igual a zero, a um nível de significância de 5%, seguem a cinética de primeira ordem, e o coeficiente angular da reta é a constante específica de taxa de morte. O valor absoluto da constante específica de morte é uma medida da resistência térmica do organismo. Quanto menor esse valor, mais resistente é o organismo à inativação térmica (WANG et al; 1979).

Nas Figuras 41, 42, 43 e 44, são mostradas as equações das retas ajustadas aos dados para as temperaturas de 45, 50, 55 e 60 °C.

Aplicando-se a equação (23), as constantes específicas de morte versus temperaturas, e fazendo-se a regressão linear dos dados, obtém-se a equação de uma reta a um nível de significância de 0,05, Equação de Arrhenius:

$$\ln k = 157,1 - \frac{52532,3}{T}$$

Na Figura 45, mostra-se a plotagem da Equação de Arrhenius ajustada aos dados.

Figura 41 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 45°C para ovos de *Ascaris* em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.

Figura 42 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 50°C para ovos de *Ascaris* em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.

Figura 43 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 55°C para ovos de *Ascaris* em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.

Figura 44 - Regressão linear do $\ln(N/N_0)$ versus tempo de reação para temperatura de 60°C para ovos de *Ascaris* em biossólido no quarto experimento em reator batelada com troca direta de calor.

Figura 45 - Efeito da temperatura na perda da viabilidade de ovos de *Ascaris suum* em biossólido em reator batelada com troca direta de calor, representação da Lei de Arrhenius.

Entre 45 e 60 °C, a taxa de perda de viabilidade aumenta exponencialmente, com o aumento da temperatura. Como os dados ajustam-se à equação de uma reta a um nível de significância de 0,05, estes seguem a Equação de Arrhenius.

De acordo com a com a equação (22)

$$k = 1,689 \cdot 10^{68} e^{\frac{-52532,3}{T}}$$

Como:

$$\frac{-E}{R} = -52532,3 \text{ K}$$

R a lei da constante ideal de um gás é igual a 8,319J/K/mol:

$$E = 437 \text{ kJ/mol}$$

ou

$$E = 104 \text{ kcal/mol}$$

O ângulo E/R mede a susceptibilidade ao calor, sendo uma propriedade específica do organismo.

Segundo REDDISH (1957), o calor de ativação E , característico de morte, geralmente, está na faixa de 50 a 100 kcal/Mol para a maioria dos esporos e microrganismos resistentes.

PIKE; CARRINGTON (1983) determinaram a energia de ativação de ovos de *Taenia saginata* em suspensão salina, no intervalo de temperaturas de 40 a 60 °C, como sendo igual a 78,8 kcal/mol.

O valor obtido para a energia de ativação de ovos de *Ascaris suum*, no intervalo de temperatura de 45 a 55 °C, de 104,5 kcal/mol é maior que o valor obtido para ovos de taenia, e maior do que o necessário para matar esporos e organismos resistentes.

Calculando-se alguns parâmetros que definem a resistência térmica dos ovos de *Ascaris* em água, o tempo de redução decimal D , equação (24):

$$T = 45 \text{ °C} \quad D = \frac{2,3026}{0,000268} \quad D = 8.592 \text{ min} \quad D \cong 6 \text{ dias}$$

$$T = 50 \text{ °C} \quad D = \frac{2,3026}{0,006772} \quad D = 340 \text{ min} \quad D = 5 \text{ h } 40 \text{ min}$$

$$T = 55\text{ }^{\circ}\text{C} \quad D = \frac{2,3026}{0,045972} \quad D = 50\text{ min}$$

$$T = 60\text{ }^{\circ}\text{C} \quad D = \frac{2,3026}{0,526769} \quad D = 4,4\text{ min}$$

Ou seja, o tempo necessário para reduzir em dez vezes a concentração de ovos viáveis de *Ascaris* em biossólido é igual a 6 dias, a 45 °C, 5 horas, 40 minutos, a 50 °C, 50 minutos a 55 °C, e 4,4 minutos, a 60 °C.

O valor de $Q10$, equação (25), mostra a dependência da temperatura das reações biológicas.

$$\ln(Q10) = 52532,3 * 10 \left[\frac{1}{328,15 * 318,15} \right]$$

$$Q10 = 153$$

Logo, a constante específica de taxa de morte k é aumentada 153 vezes com a variação de 10 °C (intervalo de 45 a 55°C).

O valor de z , equação (26), representa a dependência da temperatura da taxa de inativação:

$$z = \frac{10 \ln(10)}{5,031} \quad z = 4,58\text{ }^{\circ}\text{C}$$

ou seja, em 4,58 °C, a constante específica de taxa de morte é aumentada por um fator de dez.

Sabendo-se que a concentração média aproximada de ovos de helmintos em biossólidos de Países Africanos é de 1000 ovos/l e considerando-se a diretriz da O M. S. para aplicação de esgoto em solos agrícolas de 1 ovo/l de helminto; tem-se a inativação térmica de 99,9% dos ovos viáveis de *Ascaris*.

Com o auxílio da equação de Arrhenius, estimou-se, para as temperaturas de 45 a 60 °C, com intervalo de 1 °C, as constantes específicas de taxa de morte. Substituindo-se os valores de k na equação (20), determinou-se o tempo necessário para 99,9% de inativação dos ovos de *Ascaris*.

Na Figura 46, mostra-se um gráfico com o ajuste dos dados. Por esse, gráfico é possível visualizar, em cada temperatura, qual o tempo necessário para 99,9% de inativação de ovos de *Ascaris* em bio sólido.

Figura 46 - Estimativa das combinações tempo-temperatura necessárias para inativação térmica de 99,9% de ovos de *Ascaris* em bio sólido digerido no intervalo de temperaturas de 45 a 65 °C.

Com a Figura 46, é possível visualizar, em cada temperatura, qual o tempo necessário para 99,9% de inativação de ovos de *Ascaris* em bio sólido digerido. Por exemplo, a 58 °C são necessários aproximadamente 32 min para inativar 99,9% dos ovos viáveis de helmintos em suspensão de bio sólido digerido.

Se o valor diretriz da O M.S. para aplicação de esgotos em solos agrícolas for reduzido para 0,1 ovo/l de helminto, como se pretende, considerando-se o bio sólido com 1000 ovos/l de helmintos, média dos Países Africanos; tem-se a inativação térmica de 99,99% dos ovos viáveis de *Ascaris*.

Novamente com o auxílio da equação de Arrhenius, estimou-se, para as temperaturas de 45 a 60 °C, com intervalo de 1 °C, as constantes específicas de taxa

de morte. Substituindo-se os valores de k na equação (20), determinou-se o tempo necessário para 99,99% de inativação dos ovos de *Ascaris*.

Na Figura 47, mostra-se um gráfico com o ajuste dos dados. Por esse, gráfico é possível visualizar, em cada temperatura, qual o tempo necessário para 99,99% de inativação de ovos de *Ascaris* em bioossólido.

Figura 47 - Estimativa das combinações tempo-temperatura necessárias para inativação térmica de 99,99% de ovos de *Ascaris* em bioossólido digerido no intervalo de temperaturas de 45 a 65 °C.

Com a Figura 47, é possível visualizar, em cada temperatura, qual o tempo necessário para 99,99% de inativação de ovos de *Ascaris* em bioossólido digerido. Por exemplo, a 58 °C são necessários aproximadamente 43 min para inativar 99,99% dos ovos viáveis de helmintos em suspensão de bioossólido digerido.

A concentração de sólidos totais e a concentração média de ovos de *Ascaris*, recuperados em cada ensaio, realizado em diferentes temperaturas, foram determinadas, e os resultados encontram-se na Tabela E7 do Anexo E.

A correlação existente entre o número total de ovos de *Ascaris* recuperados e a concentração de sólidos totais presente no bioossólido é apresentada na Tabela 31.

Tabela 31 - Número de ovos/1ml com correlação não significativa ao nível de significância de 5% com sólidos totais no quarto experimento no reator batelada com troca direta de calor

Nº ovos/200/ μ l	Tamanho da amostra	Coefficiente de correlação de Pearson	Coefficiente de correlação de Spearman
Total	94	-0,1900	-0,0689

A correlação linear e monotônica entre sólidos totais e o número de ovos totais não foi significativa a um nível de significância de 5%, provavelmente, devido à baixa concentração de sólidos totais nesses ensaios, 27,3 g/l.

Na Figura 48, a equação da reta estimada é mostrada para a relação número de ovos totais versus resíduo total. A equação da reta estimada a um nível de significância de 6,6% apresenta coeficiente linear de 114,4236 e coeficiente angular de $-1,3599$.

Figura 48 - Regressão linear do número total de ovos de Ascaris recuperado versus concentração de resíduo total no bio-sólido digerido para reator com troca direta de calor no quarto experimento

A concentração média de ovos recuperados/ml para os ensaios realizados foi de 77,5 ovos/ml; o que corresponde a apenas 15% da concentração real do concentrado analisado em microscópio, 516,2 ovos/ml. Portanto, a concentração média de ovos recuperados é baixa em relação à concentração real, porém suficiente para gerar dados confiáveis para o cálculo da fração de ovos viáveis.

Comparando-se a inativação térmica de ovos de *Ascaris suum* em reator batelada com troca direta de calor em água e em biossólido, pode-se afirmar:

- A inativação térmica ocorre mais rapidamente e em menor temperatura quando os ovos estão em suspensão aquosa do que quando estão suspensos em biossólido digerido;
- Quando os ovos estão suspensos em água, na temperatura de 60 °C, não foram detectados ovos viáveis em todos os tempos reacionais; já quando o meio de suspensão for o biossólido, há presença de ovos viáveis até o tempo reacional de, aproximadamente, 14 minutos;
- Em todas as temperaturas estudadas, na presença de ovos viáveis, há um decaimento da fração deles com o aumento do tempo reacional;
- A inativação térmica de ovos de *Ascaris* segue cinética de primeira ordem em ambos os meios de suspensão dos ovos, água ou biossólido digerido;
- A energia de ativação estimada, quando o meio de suspensão dos ovos for água, é igual a 146 kcal/mol; já quando o meio de suspensão dos ovos for biossólido digerido, $E = 104$ kcal/mol; acarretando uma diferença de 44 kcal/mol. Esta pode, provavelmente, ser explicada devido à maior dificuldade da transmissão de calor no biossólido do que na água. Na água, obtém-se, rapidamente, homogeneidade de temperatura em todos os pontos do reator; já no biossólido, como os ovos de *Ascaris* tendem a ser adsorvidos na superfície dos sólidos, estes representam uma barreira protetora para difusão do calor. Segundo REDDISH (1957), o meio em que os organismos estão suspensos tem uma influência importante na quantidade de calor necessária para matá-los;

- O tempo necessário para reduzir em dez vezes a concentração de ovos viáveis de *Ascaris*, para uma mesma temperatura, é quase cinco vezes maior no bio sólido digerido do que na água;
- A constante específica de taxa de morte com a variação de 10 °C, no intervalo de temperaturas de 45 a 55 °C, quando o meio de suspensão dos ovos for água, muda 1.119 vezes; já quando o meio de suspensão dos ovos for bio sólido digerido, muda apenas 153 vezes;
- A taxa específica de morte é aumentada por um fator de dez, em 3,28 °C, quando o meio de suspensão dos ovos for água, e apenas em 4,58 °C, quando o meio de suspensão dos ovos for bio sólido digerido.

Segundo CARRINGTON (1985), a morte eficiente de patógenos requer mistura adequada dentro do reator batelada, a fim de que a penetração do calor seja rápida, e completamente uniforme em todos os pontos do bio sólido.

Para avaliar as condições de mistura completa no reator batelada com troca direta de calor ao longo do tempo, foram utilizados os dados da Tabela E6. Calculando-se, pelos dados desta Tabela, obtém-se que $\mu = 2221$ e $SD = 808,25$. Da equação (39), estima-se o coeficiente de variação:

$$\%CV = \frac{808,25 * 100}{2221}$$

$$\%CV = 36\%$$

Como a precisão (reprodutibilidade) do método de Yanko tem coeficiente de variação estimado de 26%, pode-se assumir que a concentração de ovos de *Ascaris*, em um mesmo ponto da superfície do reator, não varia ao longo do tempo.

O percentual de recuperação de ovos de *Ascaris* pode ser calculado de acordo com a equação (38), sabendo-se que o número de ovos semeados, em 50 ml de amostra, é 2.581 ovos:

$$\%RC_P = \frac{1789 * 100}{2581}$$

$$\%RC_P = 69,3$$

$$\% RC_P = \frac{2569 * 100}{2581}$$

$$\% RC_P = 99,3$$

$$\% RC_P = \frac{2129 * 100}{2581}$$

$$\% RC_P = 82,5$$

$$\% RC_P = \frac{1908 * 100}{2581}$$

$$\% RC_P = 73,9$$

$$\% RC_P = \frac{2710 * 100}{2581}$$

$$\% RC_P = 104,5$$

O percentual de recuperação média está em torno de 82%, conseqüentemente, pode-se afirmar que houve significativa dispersão dos ovos no reator batelada.

5.4 - REATOR TUBULAR PARA INATIVAÇÃO DE OVOS DE ASCARIS.

Para a inativação térmica de patógenos de pequenas e médias plantas de processamento de biossólido, há razões técnicas e econômicas para se avaliar o processo descontínuo (reator batelada). Já para grandes plantas de processamento de biossólido, é indicado o uso do processamento contínuo. Segundo CARRINGTON (1985), os pasteurizadores contínuos, precisam ter características de reatores tubulares, visto que qualquer mistura do biossólido, tratado com o biossólido sem tratamento, afeta seriamente a desinfecção obtida. Logo, nesse caso, para o processamento contínuo, é indicado um reator tubular ou um reator de mistura em série. Como o reator de mistura em série (com um número elevado de unidade, > 3) equivale a um reator tubular, decidiu-se estudar o reator tubular, devido à maior simplicidade de construção, operação e análise dos dados.

5.4.1 – Reator tubular com ovos de Ascaris em suspensão aquosa.

Inicialmente, operou-se o reator tubular com ovos de *Ascaris* suspensos em água, devido à maior facilidade de operação do sistema, assim como maior visibilidade na contagem dos ovos de *Ascaris* em microscópio após a aplicação do método de Yanko.

5.4.1.1 – Distribuição do tempo de residência

A distribuição do tempo de residência foi calculada a partir dos dados obtidos da medida de condutividade da água na saída do reator tubular (final do tubo de retenção). A medida de condutividade foi considerada proporcional à concentração de cloreto de sódio na saída do reator. Os dados de condutividade e concentração por tempo encontram-se no Anexo F.

A função de distribuição da idade de saída $E(t)$ foi determinada, aplicando-se a equação (29); os resultados são mostrados nas Figuras 49 e 50.

Figura 49 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura da água de 60 °C e vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$.

Figura 50 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura da água de 60 °C e vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$.

Os tempos de residência espacial e médio foram calculados, aplicando-se as equações (27) e (33), respectivamente. O espalhamento da distribuição representado pela variância foi determinado, aplicando-se a equação (36).

Tabela 32 - Tempos de residência médio, espacial e variância para a água em diferentes vazões

Vazão (m^3/h)	Tempo médio (min)	Variância (min^2)	Tempo Espacial (min)
$2,55 \cdot 10^{-4}$	30,39	30,60	32,4
$6,6 \cdot 10^{-4}$	8,53	18,79	12,55

Os resultados de distribuição indicaram que, quanto maior a vazão empregada, menor o tempo de residência médio e o espalhamento da distribuição, o que era esperado.

Sabendo-se que a $E(t)$ versus o tempo de um reator tubular ideal é um pulso em que o tempo médio de residência é igual ao tempo espacial, e a variância é igual a zero, observa-se que o reator tubular em questão desvia-se do comportamento ideal.

O pico principal ocorre para um tempo menor do que o tempo espacial, isto é, saída adiantada do fluido, e também parte do fluido sai em um tempo maior do que o tempo espacial. Isso indica que, nesse reator, podem estar ocorrendo pequenas zonas

mortas e pequenos curtos-circuitos. A zona morta causa uma redução do volume efetivo do reator, indicando que o volume ativo do reator é menor do que o esperado.

5.4.1.2 – Processamento contínuo

No Anexo G, encontram-se os resultados obtidos para a inativação térmica de ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa em reator tubular.

5.4.1.2.1 – Reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal

Para determinação da fração não convertida em um reator tubular ideal, utilizou-se a equação (21), em que se substitui t por τ tempo espacial.

Com o auxílio de uma planilha de cálculo do Microsoft Excel, foram determinadas as frações não convertidas de ovos de *Ascaris* (frações de ovos viáveis de *Ascaris*) após inativação térmica no reator tubular. A fração não convertida, em cada temperatura e vazão em que foram realizados experimentos, foi determinada, aplicando-se, inicialmente, a equação (22), e determinando-se k ; em seguida, aplicou-se a equação (48), para determinar a fração não convertida (N/N_0).

Nas Figuras 51 a 56, são mostrados os resultados obtidos, ressaltando-se que estes não possuem significado físico não representando perfis, mas apenas o somatório da fração não convertida calculada através da equação (48).

Figura 51 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 45 °C.

Figura 52 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 53 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 54 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 55 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 50 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

A Tabela 33 apresenta uma síntese das frações não convertidas para o modelo de reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal.

Pode-se observar, como esperado, que, em todas as vazões e temperaturas estimadas, a fração não convertida no reator tubular ideal é menor do que a fração não convertida no reator tubular real.

Tabela 33 - Frações não convertidas de ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal para todas as condições estudadas.

Vazão (m ³ /h)	Tempo espacial (min)	Temperatura (°C)	N/No Reator isotérmico com perfil de escoamento não ideal	N/No Reator ideal
2,55*10 ⁻⁴	32,40	45	0,9663	0,9641
		50	0,3029	0,2333
		55	4,7*10 ⁻¹⁴	1,2*10 ⁻¹⁸
		60	0	0
		65	0	0
		70	0	0
6,6*10 ⁻⁴	12,55	45	0,9904	0,9886
		50	0,7203	0,6051
		55	0,0009	1,16*10 ⁻⁷
		60	0	0
		65	0	0
		70	0	0
		75	0	0

Para a vazão de 2,55*10⁻⁴ m³/h, que equivale a um tempo espacial de 32,4 minutos a 45 °C, 97% dos ovos continuam viáveis após passarem pelo reator. Já a 55 °C, este valor cai para 30% e a 55 °C; praticamente, não ocorrem mais ovos viáveis após o tratamento no reator tubular.

Para a vazão de 6,6*10⁻⁴ m³/h, que equivale a um tempo de detenção de 12,6 minutos a 45 °C, 99% dos ovos continuam viáveis após serem tratados, a 50 °, este valor cai para 72%, e, a 55 °C ,apenas 0,1% dos ovos permanecem viáveis após serem tratados.

6.4.1.2.2 – Reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal

Uma rotina de cálculo escrita no programa Excel foi empregada, utilizando um método de diferenças finitas, para realizar a integração dos balanços de energia e

de massa (equações 57, 58 e 63), e obter os perfis de conversão e temperatura ao longo do comprimento do reator para todas as condições experimentais estudadas.

O Anexo H mostra a rotina de cálculo e um exemplo de aplicação da rotina para o reator tubular, operando com ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura, no início do tubo, de retenção de 50°C .

Nas Figuras 57 a 77, são mostrados os perfis de temperatura e conversão calculados ao longo do comprimento do reator tubular.

Figura 57 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 58 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 59 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45 °C.

Figura 60 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.

Figura 61 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.

Figura 62 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50 °C.

Figura 63 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C.

Figura 64 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55 °C.

Figura 65 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 66 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 67 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 68 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 69 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 70 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 71 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 72 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 73 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 74 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 75 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em água em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 76 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 77 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em água na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

A Tabela 34 apresenta uma síntese da conversão para o modelo de reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal, operando com ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa.

Tabela 34 - Conversões de ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal para todas as condições estudadas.

Vazão (m^3/h)	Tempo espacial (min)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	X_N Reator com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal
$2,55 \cdot 10^{-4}$	32,40	45	0,0172
		50	0,4642
		55	1,0000
		60	1,0000
		65	1,0000
		70	1,0000
$6,6 \cdot 10^{-4}$	12,55	45	0,0067
		50	0,2138
		55	0,9997
		60	1,0000
		65	1,0000
		70	1,0000

5.4.2 – Reator tubular com ovos de *Ascaris* em suspensão em biossólidos digeridos

Segundo BRUCE; OLIVER (1987), o biossólido líquido de esgoto é composto, principalmente, por água, mas tem propriedades que o tornam mais problemático do que a água para aquecer ou resfriar. Em particular, comporta-se como um fluido não newtoniano. Sua tendência a sujar a superfície do trocador de calor, a presença de sólidos capazes de obstruir pequenas tubulações, a tendência do biossólido de endurecer nas superfícies quentes e seu mau odor são desvantagens que podem prejudicar o sistema, assim como podem causar problemas operacionais.

5.4.2.1 – Distribuição do tempo de residência

A distribuição do tempo de residência foi calculada a partir dos dados obtidos da medida de condutividade da água na saída do reator tubular (final do tubo de retenção). A medida de condutividade foi considerada proporcional à concentração de cloreto de sódio na saída do reator. Os dados de condutividade e concentração por tempo encontram-se no Anexo F.

A função de distribuição da idade de Saída $E(t)$ foi determinada, aplicando-se a equação (29); os resultados são mostrados nas Figuras 78 e 79.

Figura 78 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura do biossólido digerido de 60 °C e vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$.

Figura 79 - Distribuição da idade de saída $E(t)$ para a temperatura do biossólido digerido de 60 °C e vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$.

Os tempos de residência espacial e médio foram calculados, aplicando-se as equações (27) e (33), respectivamente. A dispersão da distribuição, representado pela variância, foi determinado, aplicando-se a equação (36).

Tabela 35 - Tempos de residência médio, espacial e variância para o biossólido digerido em diferentes vazões.

Vazão	Tempo médio (min)	Variância (min ²)	Tempo Espacial (min)
$2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$	27,71	58,74	32,4
$6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$	12,73	95,80	12,55

Os resultados de distribuição indicaram que, quanto maior a vazão empregada, menor o tempo de residência médio. A dispersão da distribuição aumentou com o aumento da vazão.

5.4.2.2 – Processamento contínuo

No Anexo G, encontram-se os resultados obtidos para a inativação térmica de ovos de *Ascaris* em suspensão de biossólido digerido em reator tubular.

5.4.2.2.1 – Reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal

Para a determinação da fração não convertida em um reator tubular ideal, utilizou-se a equação (21), em que se substitui t por τ tempo espacial.

Com o auxílio de uma planilha de cálculo do Microsoft Excel, foram determinadas as frações de ovos viáveis de *Ascaris* (fração não convertida) após a inativação térmica no reator tubular. A fração não convertida, em cada temperatura e vazão em que foram realizados os experimentos, foi determinada, aplicando-se, inicialmente, a equação (22), e determinando-se k ; em seguida, aplicou-se a equação (48) para determinar a fração não convertida (N/N_0).

Nas Figuras 80 a 87, são mostrados os resultados obtidos, ressaltando-se que estes não possuem significado físico não representando perfis, mas apenas o somatório da fração não convertida calculada através da equação (48).

Figura 80 – Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 45 °C.

Figura 81 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 82 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 83 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 84 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 85 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 86 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 87 - Somatório da fração não convertida de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

A Tabela 36 apresenta uma síntese das frações não convertidas, para o modelo de reator tubular isotérmico, com perfil de escoamento não ideal, operando com biossólido digerido.

Tabela 36 - Frações não convertidas de ovos de *Ascaris* em suspensão de biossólido digerido em reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal para todas as condições estudadas

Vazão (m^3/h)	Tempo espacial (min)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	<i>N/No</i> Reator isotérmico com perfil de escoamento não ideal	<i>N/No</i> Reator ideal
$2,55 \cdot 10^{-4}$	32,40	45	0,9909	0,9894
		50	0,8896	0,8717
		55	0,2624	0,1949
		60	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{-8}$
		65	0	0
		70	0	0
		75	0	0
$6,6 \cdot 10^{-4}$	12,55	45	0,9956	0,9949
		50	0,9456	0,9420
		55	0,5545	0,5309
		60	0,0076	0,0009
		65	0	0
		70	0	0
		75	0	0

Pode-se observar, como esperado, que, em todas as vazões e temperaturas estimadas, a fração não convertida no reator tubular ideal é menor do que a fração não convertida no reator real.

Para a vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, que equivale a um tempo espacial de 32,4 minutos a 45 °C, 99% dos ovos continuam viáveis após passar pelo reator. Já a 50 °C, esse valor cai para 89% e, a 55 °C, cai para 26% e, a 60 °C, praticamente, não ocorrem mais ovos viáveis após o tratamento no reator tubular.

Para a vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, que equivale a um tempo de detenção de 12,6 minutos a 45 °C, 99 % dos ovos continuam viáveis após serem tratados, a 50 °, esse valor cai para 95 %, a 55 °C, 55% dos ovos permanecem viáveis após serem tratados e, a 60 °C, apenas 0,8% dos ovos permanecem viáveis após o tratamento. .

5.4.2.2.2 – Reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal

Uma rotina de cálculo escrita no programa Excel foi empregada, utilizando um método de diferenças finitas para realizar a integração dos balanços de energia e de massa (equações 57, 58 e 63) e obter os perfis de conversão e temperatura ao longo do comprimento do reator para todas as condições experimentais estudadas.

O Anexo H mostra a rotina de cálculo e um exemplo de aplicação da rotina para o reator tubular, operando com ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa, na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura, no início do tubo de retenção, de 50 °C.

Nas Figuras 88 a 111, são mostrados os perfis de temperatura e conversão calculados ao longo do comprimento do reator tubular

Figura 88 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 89 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 90 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 91 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 92 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 93 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 94 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 95 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 96 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 97 - Perfil de conversão de ovos de Ascaris em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 98 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 99 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de Ascaris em biossólido digerido na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 100 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 101 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 102 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 45°C .

Figura 103 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 104 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 105 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 50°C .

Figura 106 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 107 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 108 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 55°C .

Figura 109 - Perfil de conversão de ovos de *Ascaris* em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 110 - Perfil de temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

Figura 111 - Perfil de conversão versus temperatura em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal operando com ovos de *Ascaris* em biossólido digerido na vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e na temperatura de 60°C .

A Tabela 37 apresenta uma síntese da conversão para o modelo de reator tubular, com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal, operando com ovos de *Ascaris* em suspensão de biossólido digerido.

Tabela 37 - Conversões de ovos de *Ascaris* em suspensão em biossólido digerido em reator tubular com perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal para todas as condições estudadas

Vazão (m ³ /h)	Tempo espacial (min)	Temperatura (°C)	X _N Reator com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal
2,55*10 ⁻⁴	32,40	45	0,0065
		50	0,0815
		55	0,6416
		60	1
		65	1
		70	1
		75	1
6,6*10 ⁻⁴	12,55	45	0,0025
		50	0,0323
		55	0,3263
		60	0,9890
		65	1
		70	1
		75	1

5.4.3 - Comparação do desempenho do reator tubular

Comparando-se a $E(t)$ para a água e para o biossólido no reator tubular, observa-se que a $E(t)$, para a vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, possui forma semelhante. Para a vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, a $E(t)$ para a água apresenta-se mais simétrica do que a $E(t)$

do biossólido; isso pode ter sido gerado devido a possíveis pequenos entupimentos do sistema, causados pelo sólido do biossólido.

O tempo médio da $E(t)$ da água, para a vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, foi maior do que o tempo médio da $E(t)$ para o biossólido. Para a vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$, o tempo médio da $E(t)$ do biossólido foi maior do que o tempo médio da $E(t)$ para a água. A dispersão da distribuição da $E(t)$ para a água, para as duas vazões estudadas, foi menor para a água do que para o biossólido.

Na Tabela 38, é apresentada uma síntese das conversões obtidas para a água no reator tubular.

Tabela 38 - Comparação das conversões de ovos de *Ascaris* em suspensão em água em reator tubular para todas as condições estudadas

Vazão (m^3/h)	τ (min)	T ($^{\circ}\text{C}$)	X_N Reator Ideal	X_N Reator isotérmico perfil de escoamento não ideal	X_N Reator perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal	X_N experimental
$2,55 \cdot 10^{-4}$	32,40	45	0,0359	0,0337	0,0172	0,042
		50	0,7667	0,6971	0,4642	0,600
		55	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		60	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		65	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		70	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
$6,6 \cdot 10^{-4}$	12,55	45	0,0114	0,0096	0,0067	0,008
		50	0,3949	0,2797	0,2138	0,289
		55	1,0000	0,9991	0,9990	1,000
		60	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		65	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		70	1,0000	1,0000	1,0000	1,000

Comparando-se a conversão obtida nos três tipos de reatores tubulares estudados, reator tubular ideal, reator tubular isotérmico com perfil de escoamento

não ideal e reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal, observa-se que:

- como esperado, a conversão é sempre maior no reator tubular ideal;
- a conversão no reator tubular isotérmico e perfil de escoamento não ideal mostrou-se maior do que a conversão no reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal;
- os dois modelos propostos ajustam-se bem aos dados, porém o modelo que mais se aproximou dos dados experimentais foi o do reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal.

Na Tabela 39, é dada uma síntese das conversões obtidas para o biossólido digerido no reator tubular.

Tabela 39 - Comparação das conversões de ovos de *Ascaris* em suspensão em biossólido digerido em reator tubular para todas as condições estudadas.

Vazão (m ³ /h)	τ (min)	T (°C)	X _N Reator ideal	X _N Isotérmico com perfil de escoamento não ideal	X _N Perfil de temperatura axial e escoamento tubular ideal	X _N experimental
2,55*10 ⁻⁴	32,40	45	0,0106	0,0091	0,0065	0,010
		50	0,1283	0,1104	0,0815	0,090
		55	0,8051	0,7376	0,6416	0,710
		60	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		65	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		70	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		75	1,0000	1,0000	1,0000	1,000,
6,6*10 ⁻⁴	12,55	45	0,0051	0,0044	0,0025	0,010
		50	0,0580	0,0544	0,0323	0,040
		55	0,4691	0,4455	0,3263	0,470
		60	0,9991	0,9924	0,9890	1,000
		65	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		70	1,0000	1,0000	1,0000	1,000
		75	1,0000	1,0000	1,0000	1,000,

Tanto na água, como no biossólido, comparando-se a conversão obtida nos três tipos de reatores tubulares estudados, reator tubular ideal, reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal e reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal, observa-se que:

- como esperado, a conversão é sempre maior no reator tubular ideal;
- a conversão no reator tubular isotérmico e perfil de escoamento não ideal mostrou-se maior do que a conversão no reator tubular com perfil axial de temperatura e escoamento tubular ideal;
- os dois modelos propostos ajustam-se bem aos dados, porém o modelo que mais se aproximou dos dados experimentais foi o do reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal.

Comparando-se as conversões obtidas no reator tubular, para as mesmas condições estudadas, para o biossólido e para a água, observa-se que, como esperado, a conversão no reator tubular com os ovos de *Ascaris* suspensos em água é maior do que quando estes se encontram suspensos em biossólido.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os ensaios de viabilidade dos ovos de *Ascaris suum*, obtidos do útero de fêmeas adultas, indicaram que 79% dos ovos de *Ascaris* alcançam o estágio de larva.

O método de recuperação de ovos de *Ascaris* do biossólido digerido, método de Yanko, apresentou, em ensaios, exatidão de 67,5%, e precisão de 26,2%, para um teor de sólidos totais no biossólido de 25 g/l. Como esperado, quanto maior o teor de sólidos totais presente no biossólido digerido, menor o número de ovos de *Ascaris* recuperado pelo método de Yanko.

A cinética de inativação térmica de ovos de *Ascaris suum* em suspensão aquosa, determinada no intervalo de temperatura de 45 a 70°C, segue o modelo de primeira ordem, com as constantes específicas de morte térmica aumentando drasticamente, ou seja, 1.145 vezes, no intervalo de temperaturas de 45 a 55°C. As constantes específicas de morte térmica, no intervalo de temperaturas estudado, ajustaram-se à equação de Arrhenius a um nível de significância de 5%, indicando que a perda de viabilidade dos ovos de *Ascaris* aumenta exponencialmente com a temperatura. A energia de ativação de morte dos ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa determinada foi de 146 kcal/mol, sendo maior do que a energia de ativação para morte de esporos e microrganismos resistentes, que se situa na faixa de 50 a 100 kcal/mol.

A cinética de inativação térmica de ovos de *Ascaris suum* em suspensão de biossólido digerido, determinada no intervalo de temperatura de 45 a 75°C, para um teor médio de sólidos totais de 26,4g/l e desvio padrão de 18,6 g/l, segue o modelo de primeira ordem, com as constantes específicas de morte térmica aumentando drasticamente, 1.965 vezes, no intervalo de temperaturas de 45 a 60°C.

A energia de ativação de morte dos ovos de *Ascaris* em suspensão de biossólido digerido determinada foi de 105 kcal/mol. Como esperado, o meio em que os patógenos estão suspensos influi, significativamente, na inativação térmica dos mesmos.

A inativação térmica dos ovos de *Ascaris* em suspensão de biossólido digerido apresenta maior resistência à inativação do que quando os ovos estão suspensos em

água. Para uma mesma temperatura, o tempo necessário para reduzir em dez vezes a concentração de ovos viáveis de *Ascaris* é aproximadamente cinco vezes maior quando os ovos encontram-se suspensos em biossólido digerido do que quando eles encontram-se suspensos em água. Isso ocorre, provavelmente, devido à maior dificuldade encontrada para a difusão do calor no meio dos sólidos do biossólido, quando comparada a água. Pois, a morte eficiente de patógenos requer mistura adequada no reator batelada, a fim de que a penetração do calor seja rápida, e completamente uniforme em todos os pontos da mistura reacional.

Para inativação térmica de 99,9% dos ovos viáveis de helmintos em biossólidos digeridos (aproximadamente 27g/l de sólidos totais), o que equivale a reduzir a concentração de ovos viáveis de helmintos em biossólidos de 1.000 ovos/l (média dos Países Africanos) para 1 ovo/l (valor diretriz da O M.S.), são necessários aproximadamente 32 min. a 58 °C.

Se o valor diretriz da O M.S. for reduzido para 0,1 ovo/l, como esperado, o que equivale a inativação térmica de 99,99% dos ovos viáveis de helmintos em biossólidos, são necessários aproximadamente 43 min a 58 °C.

Para a inativação térmica de patógenos de pequenas e médias plantas de processamento de biossólido, há razões técnicas e econômicas para se avaliar o processo descontínuo (reator batelada). Já para grandes plantas de processamento de biossólido, é indicado o uso do processamento contínuo. Os pasteurizadores contínuos, precisam ter características de reatores tubulares, visto que qualquer mistura do biossólido, tratado com o biossólido sem tratamento, afeta seriamente a desinfecção obtida.

No reator tubular, os ensaios de distribuição de tempo de residência no reator tubular demonstraram que, para a água, a diminuição da vazão causou um aumento no tempo de residência médio e uma maior distribuição do tempo. Para o biossólido, os resultados da distribuição de tempo de residência indicaram que, quanto maior a vazão empregada, menor o tempo médio de residência, porém maior a distribuição do tempo.

Os dois modelos matemáticos utilizados para modelar o reator tubular reator, tanto para os ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa, como para os ovos de *Ascaris* em suspensão de biossólido digerido foram: reator tubular isotérmico com perfil de

escoamento não ideal e reator tubular com perfil axial de temperatura e perfil de escoamento tubular ideal. O reator tubular isotérmico com perfil de escoamento não ideal foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

De acordo com os resultados experimentais obtidos no processamento do biossólido digerido, com teor de sólidos totais de 1 g/l, em reator tubular; para a temperatura de 55°C tem-se 100% de inativação dos ovos viáveis de helmintos em tempo espacial de 32,4 min. Para tempo espacial de 12,55 min., nas mesmas condições acima citadas, tem-se 100% de inativação dos ovos viáveis de helmintos na temperatura de 60°C.

Praticamente, inexistem estudos do comportamento reológico do biossólido digerido a altas temperaturas, temperaturas na faixa de 45 a 75°C, estes são importantes, pois a inativação térmica dos patógenos do biossólido é realizada a altas temperaturas, e o comportamento dos fluidos não-newtonianos é influenciado, significativamente, pela temperatura.

O comportamento reológico do fluido é de extrema importância, pois permite caracterizar o fluido quanto ao seu escoamento, e fornece a base para cálculos de engenharia, tais como: vazão volumétrica, seleção e dimensionamento de bombas, perda de carga em tubulação, cálculo do coeficiente de transferência de calor, em operações que envolvam esterilização e na previsão de mudanças de comportamento durante o processamento. Portanto, é muito importante definir o modelo que prediz o comportamento reológico do biossólido digerido na faixa de temperaturas de 45 a 75°C.

ANEXOS

ANEXO A – Dados do reator batelada com troca indireta de calor

As células da tabela que estão preenchidas com um traço (-) referem-se às partes do ensaio em que não foi feita coleta de amostra ou em que se julgou desnecessário o estudo da amostra.

Tabela A1 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 45°C.

Tempo (min)	45°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
1	6	2	8	25
20	-	-	-	-
25	-	-	-	-
30	1	1	2	50
35	5	3	8	37,5
40	0	3	3	100
45	1	3	4	75
50	2	3	5	60
55	2	0	2	0
60	3	2	5	40
65	0	2	2	100
70	2	4	6	66,7
75	0	2	2	100
80	0	1	1	100
85	1	1	2	50
90	4	1	5	20
95	0	1	1	100
100	2	0	2	0
105	1	2	3	66,7
110	0	2	2	100
115	0	3	3	100
120	4	2	6	33,3
125	0	4	4	100
130	5	1	6	16,7
135	5	2	7	28,6
140	1	2	3	66,7
145	0	0	0	X
150	1	1	2	50

Tabela A 2 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 50°C.

Tempo (min)	50°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
1	1	6	7	85,7
20	-	-	-	-
25	-	-	-	-
30	-	-	-	-
35	-	-	-	-
40	3	0	3	0
45	1	2	3	66,7
50	0	3	3	100
55	1	6	7	85,7
60	0	2	2	100
65	0	3	3	100
70	0	8	8	100
75	-	-	-	-
80	0	4	4	100
85	0	6	6	100
90	0	1	1	100
95	0	2	2	100
100	0	3	3	100
105	-	-	-	-
110	0	5	5	100
115	0	2	2	100
120	0	5	5	100
125	1	4	5	80
130	0	5	5	100
135	0	4	4	100
140	0	6	6	100
145	0	3	3	100
150	-	-	-	-

Tabela A 3 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 55°C

Tempo (min)	55°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
1	0	13	13	100
20	0	7	7	100
25	1	4	5	80
30	0	8	8	100
35	0	13	13	100
40	0	10	10	100
45	0	4	4	100

Tabela A 3 (Continuação) - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 55°C.

Tempo (min)	55°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
50	0	7	7	100
55	0	12	12	100
60	0	9	9	100
65	0	4	4	100
70	0	6	6	100
75	0	11	11	100
80	0	5	5	100
85	0	5	5	100
90	0	3	3	100
95	-	-	-	-
100	0	4	4	100
105	0	3	3	100
110	0	1	1	100
115	0	2	2	100
120	0	2	2	100
125	0	2	2	100
130	0	9	9	100
135	0	4	4	100
140	0	5	5	100
145	-	-	-	-
150	-	-	-	-

Tabela A4 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 60°C.

Tempo (min)	60°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
1	0	16	16	100
5	-	-	-	-
10	-	-	-	-
15	-	-	-	-
20	-	-	-	-
25	0	4	4	100
30	0	3	3	100
35	0	3	3	100
40	0	4	4	100
45	0	5	5	100
50	0	5	5	100
55	0	4	4	100

Tabela A4 (Continuação) - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 60°C.

Tempo (min)	60°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
60	0	4	4	100
65	0	9	9	100
70	0	4	4	100
75	0	9	9	100
80	0	8	8	100
85	0	3	3	100
90	0	5	5	100
95	0	6	6	100
100	0	5	5	100
105	-	-	-	-
110	0	9	9	100
115	0	2	2	100
120	0	4	4	100
125	0	8	8	100
130	0	7	7	100
135	0	11	11	100
140	0	5	5	100

Tabela A5 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 65°C

Tempo (min)	65°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
1	1	19	20	95
5	-	-	-	-
10	0	7	7	100
15	0	9	9	100
20	0	13	13	100
25	0	20	20	100
30	0	11	11	100
35	0	5	5	100
40	0	7	7	100
45	0	15	15	100
50	0	17	17	100
55	0	9	9	100
60	0	12	12	100
65	0	8	8	100
70	0	11	11	100
75	0	9	9	100

Tabela A5 (Continuação)- Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 65°C.

Tempo (min)	65°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
80	0	7	7	100
85	0	15	15	100
90	0	3	3	100
95	0	17	17	100
100	0	8	8	100
105	0	10	10	100
110	0	13	13	100
115	0	11	11	100
120	0	8	8	100
125	0	10	10	100
130	0	9	9	100
135	0	13	13	100
140	-	-	-	-

Tabela A6 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 70°C.

Tempo (min)	70°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
1	0	17	17	100
5	0	13	13	100
10	0	5	5	100
15	1	7	8	87,5
20	2	8	10	80
25	1	6	7	85,7
30	0	10	10	100
35	0	13	13	100
40	0	8	8	100
45	0	7	7	100
50	0	7	7	100
55	0	2	2	100
60	0	5	5	100

Tabela A7 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 75°C

Tempo (min)	75°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
1	0	16	16	100
5	0	7	7	100
10	0	3	3	100
15	0	8	8	100
20	0	14	14	100
25	0	3	3	100
30	0	10	10	100
35	0	3	3	100
40	0	9	9	100
45	0	10	10	100
50	0	8	8	100

Tabela A8 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 80°C

Tempo (min)	80°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
1	0	15	15	100
5	0	6	6	100
10	0	6	6	100
15	0	10	10	100
20	0	4	4	100
25	0	5	5	100
30	0	8	8	100
35	0	5	5	100
40	0	4	4	100
45	0	14	14	100
50	-	-	-	-

Tabela A9 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca indireta de calor a 85°C

Tempo (min)	85°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	Inativação
1	0	9	9	100
5	0	8	8	100
10	0	2	2	100
15	0	7	7	100
20	0	4	4	100
25	0	5	5	100
30	0	3	3	100
35	0	4	4	100
40	0	5	5	100
45	-	-	-	-
50	-	-	-	-

Tabela A10 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados nos ensaios com biossólido em reator batelada com troca indireta de calor.

Temperatura (°C)	Sólidos totais (g/l)	Média ovos/200 /μl
45	59,27	3,62
50	52,78	4,14
55	51,05	6,16
60	41,96	5,96
65	19,67	11
70	23,88	8,62
75	28,39	8,27
80	20,89	7,7
85	41,05	5,22
Média de ovos nos ensaios/200/μl		6,74

**ANEXO B – Dados do primeiro experimento no reator batelada com troca
direta de calor**

As células da tabela que estão preenchidas com um traço (-) referem-se às partes do ensaio em que não foi feita coleta de amostra ou em que se julgou desnecessário o estudo da amostra.

Tabela B1 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 45°C

Tempo (min)	45°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
1	19	6	25	24
20	-	-	-	-
25	-	-	-	-
30	1	3	4	75
35	2	2	4	50
40	4	3	7	43
45	6	2	8	25
50	2	2	4	50
55	0	3	3	100
60	3	7	10	70
65	3	0	3	0
70	2	1	3	33
75	4	4	8	50
80	1	0	1	0
85	0	2	2	100
90	5	2	7	29
95	4	5	9	56
100	8	4	12	33
105	4	2	6	33
110	8	5	13	38
115	6	0	6	0
120	7	6	13	46
125	5	2	7	29
130	7	5	12	42
135	1	3	4	75
140	1	4	5	80
145	3	6	9	67
150	1	5	6	83

Tabela B2 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 50°C

Tempo (min)	50°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/ μ l	Inativação
1	10	23	33	69,7
20	-	-	-	-
25	-	-	-	-
30	-	-	-	-
35	-	-	-	-
40	22	5	27	19
45	23	3	26	12
50	12	8	20	40
55	15	8	23	35
60	130	4	134	3
65	11	8	19	42
70	15	11	26	42
75	3	8	11	73
80	1	4	5	80
85	5	19	24	79
90	5	19	24	79
95	22	3	25	12
100	6	27	33	82
105	2	22	24	92
110	2	31	33	94
115	2	6	8	75
120	1	14	15	93
125	0	3	3	100
130	0	22	22	100
135	0	18	18	100
140	0	15	15	100
145	-	-	-	-
150	-	-	-	-

Tabela B3 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 55°C

Tempo (min)	55°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/ μ l	Inativação
1	112	12	124	10
20	15	2	17	12
25	10	2	12	17
30	12	1	13	8
35	36	1	37	3
40	12	1	13	8

Tabela B3 (Continuação)- Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 55°C.

Tempo (min)	55°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/ μ l	Inativação
45	11	3	14	21
50	10	1	11	9
55	20	2	22	9
60	20	0	20	0
65	15	2	17	12
70	8	1	9	11
75	26	3	29	10
80	13	2	15	13
85	16	2	18	11
90	6	2	8	25
95	3	2	5	40
100	8	6	14	43
105	0	8	8	100
110	0	8	8	100
115	0	9	9	100
120	0	29	29	100
125	1	10	11	91
130	2	5	7	71
135	0	10	10	100
140	0	3	3	100
145	-	-	-	-
150	-	-	-	-

Tabela B4 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 60°C

Tempo (min)	60°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/ μ l	Inativação
1	1	15	16	93,8
5	-	-	-	-
10	-	-	-	-
15	-	-	-	-
20	-	-	-	-
25	0	6	6	100
30	0	7	7	100
35	0	1	1	100
40	0	11	11	100
45	1	8	9	89
50	0	4	4	100
55	0	10	10	100

Tabela B4 (Continuação) - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 60°C.

Tempo (min)	60°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
60	1	3	4	75
65	0	3	3	100
70	1	3	4	75
75	5	1	6	17
80	0	7	7	100
85	0	5	5	100
90	1	9	10	90
95	0	1	1	100
100	0	3	3	100
105	3	8	11	73
110	2	7	9	78
115	0	14	14	100
120	1	13	14	93
125	0	11	11	100
130	2	10	12	83
135	2	11	13	85
140	0	5	5	100

Tabela B5 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 65°C

Tempo (min)	65°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
1	0	82	82	100
5	-	-	-	-
10	-	-	-	-
15	0	40	40	100
20	1	16	17	94
25	0	50	50	100
30	1	68	69	99
35	4	62	66	94
40	0	57	57	100
45	4	33	37	89
50	6	30	36	83
55	4	25	29	86
60	0	45	45	100
65	0	39	39	100
70	0	18	18	100
75	0	36	36	100

Tabela B5 (Continuação)- Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 65°C.

Tempo (min)	65°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
80	0	26	26	100
85	0	4	4	100
90	6	27	33	82
95	0	31	31	100
100	0	31	31	100
105	0	23	23	100
110	0	12	12	100
115	0	5	5	100
120	0	26	26	100
125	0	36	36	100
130	0	11	11	100
135	0	35	35	100
140	-	-	-	-

Tabela B6 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 70°C

Tempo (min)	70°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
1	1	12	13	92
5	0	2	2	100
10	0	2	2	100
15	0	1	1	100
20	0	1	1	100
25	0	1	1	100
30	0	3	3	100
35	1	1	2	50
40	0	2	2	100
45	0	0	0	X
50	1	2	3	67
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-

Tabela B7 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 75°C

Tempo	75°C			
(min)	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
1	0	9	9	100
5	1	6	7	86
10	0	3	3	100
15	-	-	-	-
20	0	4	4	100
25	0	2	2	100
30	0	3	3	100
35	0	6	6	100
40	0	3	3	100
45	0	1	1	100
50	0	3	3	100

Tabela B8 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 80°C

Tempo	80°C			
(min)	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
1	0	7	7	100
5	-	-	-	-
10	0	3	3	100
15	0	1	1	100
20	1	2	3	67
25	0	1	1	100
30	1	1	2	50
35	0	5	5	100
40	0	2	2	100
45	0	1	1	100

Tabela B9 - Número de ovos *Ascaris*/200/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 85°C

Tempo (min)	85°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/200/μl	Inativação
1	1	5	6	83
5	0	4	4	100
10	0	5	5	100
15	1	3	4	75
20	0	2	2	100
25	0	4	4	100
30	0	5	5	100
35	0	2	2	100
40	0	1	1	100

Tabela B10 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados no primeiro experimento com biossólido em reator batelada com troca direta de calor

Temperatura (°C)	Sólidos totais (g/l)	Média ovos/200/μl
45	19,38	7,35
50	21,08	25,82
55	10,21	18,58
60	30,02	7,84
65	24,95	34,38
70	20,36	2,73
75	38,72	4,10
80	44,19	2,78
85	21,74	3,67
Média de ovos nos ensaios/200/μl		11,92

**ANEXO C – Dados do segundo experimento no reator batelada com troca
direta de calor**

As células da tabela que estão preenchidas com um traço (-) referem-se às partes do ensaio em que não foi feita coleta de amostra ou em que se julgou desnecessário o estudo da amostra.

Tabela C1 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l de bio sólido em reator batelada com troca direta de calor a 70°C

Tempo (min)	70°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/100/ μ l	%Inativação
1	0	16	16	100
80	1	10	11	91
120	0	16	16	100
160	0	9	9	100
200	0	14	14	100
240	0	17	17	100
280	0	6	6	100
320	0	12	12	100
360	0	12	12	100
400	0	22	22	100
440	0	23	23	100
480	0	6	6	100
520	0	7	7	100
560	1	7	8	88
600	0	12	12	100
640	0	6	6	100
680	0	5	5	100
720	0	4	4	100
760	0	8	8	100
800	0	10	10	100
840	0	9	9	100
880	0	15	15	100

Tabela C2 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 75°C

Tempo (min)	75°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/100/ μ l	%Inativação
1	0	20	20	100
80	0	23	23	100
120	0	11	11	100
160	0	19	19	100
200	0	10	10	100
240	0	7	7	100
280	0	28	28	100
320	0	16	16	100
360	0	26	26	100
400	0	18	18	100
440	0	27	27	100
480	0	14	14	100
520	0	9	9	100
560	0	4	4	100
600	0	11	11	100

Tabela C3 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 80°C

Tempo (min)	80°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/100/ μ l	%Inativação
1	0	10	10	100
50	0	4	4	-
65	0	5	5	100
80	0	9	9	100
95	0	6	6	100
110	0	8	8	100
125	0	5	5	100
140	0	4	4	100
155	0	7	7	100
170	0	8	8	100
185	0	8	8	100
200	0	4	4	100
215	0	7	7	100
230	0	3	3	100
245	0	8	8	100
260	0	7	7	100
275	0	5	5	100
290	0	5	5	100
305	0	6	6	100
320	0	6	6	100
350	0	12	12	100
365	0	4	4	100
380	0	5	5	100

Tabela C4 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 85°C

Tempo (min)	85°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/100/ μ l	%Inativação
1	0	59	59	100
60	0	75	75	100
70	0	52	52	100
80	0	42	42	100
90	0	40	40	100
100	0	38	38	100
110	0	18	18	100
120	0	21	21	100
130	0	23	23	100
140	0	13	13	100
150	0	6	6	100
160	0	11	11	100
170	0	21	21	100
180	0	10	10	100
190	0	21	21	100
200	0	18	18	100
210	0	36	36	100
220	0	23	23	100
230	0	25	25	100
240	0	60	60	100

Tabela C5 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l de biossólido em reator batelada com troca direta de calor a 90°C.

Tempo (min)	90°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/100/ μ l	Inativação
1	0	5	5	100
10	0	4	4	100
20	0	8	8	100
30	0	4	4	100
40	0	5	5	100
50	0	7	7	100
60	0	6	6	100
70	0	4	4	100
80	0	6	6	100
90	0	8	8	100
100	0	5	5	100
110	0	4	4	100
120	0	6	6	100
130	0	6	6	100
140	0	8	8	100
150	0	4	4	100
160	0	6	6	100

Tabela C6 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados no segundo experimento com biossólido em reator batelada com troca indireta de calor

Temperatura (°C)	Sólidos totais (g/l)	Média ovos/100/μl
70	39,83	11,2
75	12,74	16,2
80	18,68	6,4
85	9,23	30,6
90	35,35	5,7
Média de ovos nos ensaios/100/μl		14,02

**ANEXO D – Dados do terceiro experimento no reator batelada com troca direta
de calor**

As células da tabela que estão preenchidas com um traço (-) referem-se às partes do ensaio em que não foi feita coleta de amostra ou em que se julgou desnecessário o estudo da amostra.

As células demarcadas em *itálico* indicam que foram feitas leitura em microscópio de 1ml de amostra, já as demais células, em normal, informam que foram realizadas leitura em microscópio de 100/ μ l de amostra.

Tabela D1 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 45°C

Tempo (min)	45°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
1	224	60	284	21,1
30	54	15	69	21,7
35	77	17	94	18,1
40	40	7	47	14,9
45	18	0	18	0
50	120	53	173	30,6
55	83	23	106	21,7
60	19	8	27	29,6
65	147	46	193	23,8
70	76	29	105	27,6
75	21	3	24	12,5
80	27	11	38	28,8
85	38	24	62	38,7
90	6	3	9	33,3
95	33	16	49	32,7
100	37	20	57	35,1
105	77	31	108	28,7
110	39	14	53	26,4
115	56	35	91	38,5
120	81	33	114	28,9
125	21	5	26	19,2
130	106	31	137	22,6
135	8	5	13	38,4
140	9	6	15	40,0

Tabela D1 (Continuação) - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 45°C.

Tempo (min)	45°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
145	37	20	57	35,1
150	-	-	-	-
160	52	25	77	32,5
170	106	49	155	31,6
180	119	58	177	32,8
190	12	8	20	40,0
200	111	59	170	34,7
210	81	38	119	31,8
220	66	34	100	34,0
230	87	35	122	28,7
240	91	68	159	42,8
250	48	47	95	49,5
260	57	41	98	41,8
270	36	21	57	36,8
280	48	48	96	50,0
290	21	18	39	46,2
300	14	14	28	50,0

Tabela D2 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 50°C

Tempo (min)	50°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
1	65	17	82	20,7
5	70	28	98	28,6
10	61	33	94	35,1
15	38	23	61	37,7
20	52	27	79	34,2
25	40	24	64	37,5
30	20	15	35	42,9
35	26	74	100	74,0
40	11	53	64	82,8
45	11	28	39	71,8
50	4	33	37	89,2
55	2	37	39	94,9
60	0	24	24	100
65	1	62	63	98,4
70	0	65	65	100

Tabela D2 (Continuação) - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 50°C.

Tempo (min)	50°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
75	0	18	18	100
80	0	85	85	100
85	0	37	37	100
90	0	30	30	100
95	0	30	30	100
100	0	46	46	100
105	0	44	44	100
110	0	35	35	100
115	0	55	55	100
120	0	56	56	100
125	0	28	28	100
130	0	59	59	100
135	0	135	135	100
140	0	46	46	100
145	0	40	40	100

Tabela D3 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 55°C

Tempo (min)	55°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
0	34	11	45	24,4
1	9	41	50	82,0
5	0	62	62	100
10	0	25	25	100
15	0	47	47	100
20	0	32	32	100
25	0	60	60	100
30	0	24	24	100
35	0	105	105	100
40	0	60	60	100
45	0	48	48	100
50	0	37	37	100
55	0	49	49	100
60	0	39	39	100
65	0	148	148	100
70	0	55	55	100
75	0	54	54	100

Tabela D3 (Continuação) - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 55°C.

Tempo (min)	55°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
80	0	7	7	100
85	0	86	86	100
90	0	36	36	100
95	0	59	59	100
100	0	187	187	100
105	0	73	73	100
110	0	25	25	100
115	0	114	114	100
120	0	81	81	100
125	0	166	166	100
130	0	41	41	100
135	0	12	12	100
140	0	17	17	100

Tabela D4 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 60°C

Tempo (min)	60°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
1	0	55	55	100
2	0	62	62	100
4	0	74	74	100
6	0	96	96	100
8	0	78	78	100
10	0	66	66	100
12	0	39	39	100
14	0	89	89	100
16	0	64	64	100
18	0	102	102	100
25	0	123	123	100
30	0	96	96	100
35	0	106	106	100
40	0	84	84	100
45	0	59	59	100
50	0	93	93	100
55	0	27	27	100
60	0	109	109	100
65	0	139	139	100
70	0	39	39	100
75	0	75	75	100
80	0	62	62	100
85	0	1	1	100

Tabela D5 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l ou 1ml em água em reator batelada com troca direta de calor a 65°C

Tempo (min)	65°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
1	0	98	98	100
3	0	57	57	100
5	0	74	74	100
7	0	125	125	100
9	0	135	135	100
10	0	140	140	100
20	0	51	51	100
25	0	35	35	100
30	0	82	82	100
35	0	131	131	100
40	0	52	52	100
45	0	36	36	100
50	0	15	15	100
55	0	13	13	100
60	0	34	34	100
65	0	29	29	100
70	0	24	24	100
75	0	41	41	100
80	0	28	28	100
85	0	23	23	100
90	0	19	19	100
95	0	34	34	100
100	0	79	79	100
105	0	24	24	100
110	0	37	37	100
115	0	129	129	100
120	0	18	18	100
125	0	173	173	100
130	0	18	18	100

Tabela D7 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l em água em reator batelada com troca direta de calor a 75°C

Tempo (min)	75°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
15	0	0	0	100
20	0	0	0	100
25	0	0	0	100
30	0	0	0	100
35	0	0	0	100
40	0	0	0	100
45	0	0	0	100
50	0	0	0	100

Tabela D6 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l em água em reator batelada com troca direta de calor a 70°C

Tempo (min)	70°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
15	0	0	0	100
20	0	1	1	100
25	0	0	0	100
30	0	0	0	100
35	0	1	1	100
40	0	4	4	100
45	0	0	0	100
50	0	0	0	100
55	0	2	2	100
60	0	0	0	100

Tabela D8- Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l em água em reator batelada com troca direta de calor a 80°C

Tempo (min)	80°C			%Inativação
	Viáveis	Inviáveis	Total	
5	0	5	5	100
10	0	1	1	100
15	0	2	2	100
20	0	1	1	100

Tabela D9 - Número de ovos *Ascaris*/100/ μ l em água em reator batelada com troca direta de calor a 85°C

Tempo (min)	85°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total	%Inativação
1	1	30	31	96,8
40	0	21	21	100
50	0	13	13	100
60	0	15	15	100
70	0	16	16	100
80	0	11	11	100
90	0	7	7	100
100	0	4	4	100
110	0	14	14	100
120	0	11	11	100
130	0	5	5	100
140	0	5	5	100
150	0	4	4	100
160	0	1	1	100
170	0	8	8	100
180	0	9	9	100
190	0	6	6	100
200	0	9	9	100
210	0	29	29	100
220	0	20	20	100
230	0	5	5	100
240	0	5	5	100
250	0	12	12	100

Tabela D10 - Média de ovos encontrados nos ensaios com água em reator batelada com troca direta de calor

Temperatura (°C)	Média	
	ovos/100/ μ l	Média ovos/1ml
45	78,8	100,8
50	48,9	76,6
55	64,6	45,8
60	77,9	72,5
65	52,7	97,8
70	0,7	
75	-	-
80	2,25	-
85	10,9	-
Média nos ensaios de ovos	42,1	78,7

**ANEXO E – Dados do quarto experimento no reator batelada com troca direta
de calor**

As células da tabela que estão preenchidas com um traço (-) referem-se às partes do ensaio em que não foi feita coleta de amostra ou em que se julgou desnecessário o estudo da amostra.

Tabela E1 - Número de ovos *Ascaris*/ 1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 45°C

Tempo (min)	45°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
1	201	55	256	21,5
30	155	42	197	21,3
35	141	38	179	21,2
40	115	19	134	14,2
45	179	40	219	18,3
50	116	29	145	20,0
55	96	34	130	2,6
60	131	23	154	14,9
65	181	54	235	23,0
70	149	41	190	21,6
75	104	74	178	41,6
80	161	42	203	20,7
85	98	22	120	18,3
90	16	11	27	40,7
95	21	8	29	27,6
100	21	4	25	16,0
105	97	21	118	17,8
110	2	1	3	33,0
115	30	10	40	25,0
120	41	14	55	25,5
125	62	32	94	34,0
130	20	6	26	23,1
135	32	17	49	34,7
140	220	20	270	7,4
145	202	44	246	17,9
150	138	33	171	19,3

Tabela E2 - Número de ovos *Ascaris*/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 50°C.

Tempo (min)	50°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
1	44	9	53	17,0
30	34	11	45	24,4
35	43	19	62	30,6
40	24	11	35	31,4
45	19	7	26	26,9
50	59	25	84	29,8
55	15	7	22	31,8
60	47	36	83	43,4
65	45	27	72	37,5
70	40	25	65	38,5
75	33	20	53	37,7
80	32	32	64	50,0
85	53	44	97	45,4
90	34	34	68	50,0
95	30	44	74	59,4
100	18	23	41	56,1
105	30	53	83	63,9
110	30	57	87	65,5
115	13	20	33	60,6
120	28	62	90	68,9
125	14	43	57	75,4
130	13	29	42	69,0
135	19	36	55	65,5
140	20	50	70	71,4
145	8	17	25	68,0
150	9	18	27	66,7

Tabela E3 - Número de ovos *Ascaris*/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 55°C

Tempo (min)	55°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
1	62	10	72	13,9
40	41	56	97	57,7
45	38	51	89	57,3
50	17	21	38	55,3
55	16	32	48	66,7
60	7	34	41	82,9
65	8	79	87	90,8
70	4	106	110	96,4
75	12	186	198	93,9
80	2	13	15	86,7
85	2	78	80	97,5
90	3	167	170	98,2

Tabela E3 (Continuação) - Número de ovos *Ascaris*/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 55°C.

Tempo (min)	55°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
95	1	82	83	98,8
100	0	81	81	100
105	0	95	95	100
110	0	49	49	100
115	0	67	67	100
120	-	-	-	-
125	-	-	-	-
130	-	-	-	-
135	-	-	-	-
140	-	-	-	-

Tabela E4 - Número de ovos *Ascaris*/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 60°C

Tempo (min)	60°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
1	82	32	114	28,1
5	40	55	95	57,9
10	11	53	64	82,8
15	0	53	53	100
20	0	49	49	100
25	0	84	84	100
30	0	67	67	100
35	0	35	35	100
40	-	-	-	-
45	-	-	-	-
50	-	-	-	-
55	-	-	-	-
60	-	-	-	-
65	-	-	-	-
70	-	-	-	-
75	-	-	-	-
80	-	-	-	-
85	-	-	-	-
90	-	-	-	-
95	-	-	-	-
100	-	-	-	-
105	-	-	-	-
110	-	-	-	-
115	-	-	-	-
120	-	-	-	-
125	-	-	-	-
130	-	-	-	-
135	-	-	-	-
140	-	-	-	-

Tabela E5 - Número de ovos *Ascaris*/1ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 65°C.

Tempo (min)	65°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
1	0	53	53	100
5	0	28	28	100
10	0	34	34	100
20	0	25	25	100
25	0	22	22	100
30	0	26	26	100
35	0	46	46	100
40	0	34	34	100
45	0	18	18	100
50	0	41	41	100
55	0	25	25	100
60	0	38	38	100
65	0	34	34	100
70	0	28	28	100
75	0	30	30	100
80	0	32	32	100
85	0	15	15	100
90	0	-	-	-
95	0	-	-	-
100	0	-	-	-
105	0	-	-	-
110	0	-	-	-
115	0	-	-	-
120	0	-	-	-
125	0	-	-	-
130	0	-	-	-

Tabela E6 - Número de ovos *Ascaris*/5ml em biossólido em reator batelada com troca direta de calor no quarto experimento a 70°C

Tempo (min)	70°C			
	Viáveis	Inviáveis	Total/5ml	%Inativação
1	0	1789	1789	100
5	0	2129	2129	100
10	0	2569	2569	100
15	0	1908	1908	100
20	0	2710	2710	100
25	0	-	-	-
30	0	-	-	-
35	0	-	-	-
40	0	-	-	-
45	0	-	-	-
50	0	-	-	-
55	0	-	-	-
60	0	-	-	-

Tabela E7 - Concentração de sólidos totais e média de ovos encontrados no quarto experimento com biossólido em reator batelada com troca direta de calor

Temperatura (°C)	Sólidos totais (g/l)	Média ovos/ml
45	19,31	134,35
50	16,73	68,19
55	38,55	83,53
60	28,89	70,13
65	32,88	31,12
70	22,31	-
75	41,92	-
80	40,65	-
85	37,46	-
Média de ovos nos ensaios/1ml		77,46

ANEXO F – Resultados de distribuição do tempo de residência

Tabela F1 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para a água para a vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60°C

Água		$Q=2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$
Tempo (min)	Condutividade (mS)	Concentração Relativa de NaCl (g/l)
0	0,0	0,0000
5	0,0	0,0000
10	0,0	0,0000
15	0,0	0,0000
20	9,6	0,0046
25	30,5	0,0134
30	25,8	0,0124
35	8,5	0,0035
40	1,5	0,0006
45	0,9	0,0004
50	0,4	0,0002
55	0,4	0,0002
60	0,0	0,0000
65	0,0	0,0000
70	0,0	0,0000

Tabela F2 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para a água para a vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60°C

Água		$Q=6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$
Tempo (min)	Condutividade (mS)	Concentração Relativa de NaCl (g/l)
0	0	0,00000
3	15,1	0,0064
6	23,3	0,0099
9	8,2	0,0035
12	3,4	0,0014
15	2,2	0,0009
18	1,3	0,0005
21	0,8	0,0003
24	0,6	0,0002
27	0,3	0,0001
30	0	0,0000
33	0	0,0000
36	0	0,0000
39	0	0,0000
42	0	0,0000
45	0	0,0000
48	0	0,0000
51	0	0,0000

Tabela F3 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para biossólido digerido para a vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60°C

Biossólido Digerido		$Q=2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$
Tempo (min)	Condutividade (mS)	Concentração Relativa de NaCl (g/l)
0	0,0	0,0000
5	0,0	0,0000
10	0,5	0,0002
15	2,4	0,0010
20	72,0	0,0305
25	34,2	0,0140
30	23,1	0,0097
35	7,3	0,0031
40	4,2	0,0018
45	2,6	0,0011
50	2,5	0,0010
55	1,4	0,0006
60	0,6	0,0002
65	0,0	0,0000
70	0,0	0,0000

Tabela F4 - Medida da condutividade com o tempo na saída do reator para biossólido digerido para a vazão de $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura de 60°C

Biossólido Digerido		$Q=6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$
Tempo (min)	Condutividade (mS)	Concentração Relativa de NaCl (g/l)
0	0,0	0,00000
3	0,0	0,00000
6	0,0	0,0000
9	25,5	0,01080
12	13,9	0,00590
15	4,5	0,00190
18	2,6	0,00100
21	2,1	0,00090
24	1,5	0,00060
27	1,2	0,00050
30	1,1	0,00046
33	0,9	0,00038
36	0,7	0,00030
39	0,7	0,00030
42	0,5	0,00020
45	0,4	0,00017
48	0,4	0,00017
51	0,3	0,00013
54	0,3	0,00013
57	0,2	0,00008
60	0,2	0,00008
63	0,0	0,00000

ANEXO G – Resultados dos experimentos no reator tubular

Tabela G1 - Número de ovos Ascaris/1ml em água em reator tubular

Vazão (m ³ /h)	Temperatura (°C)	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
2,55*10 ⁻⁴	45	138	51	189	2,7
	50	63	148	211	70,0
	55	0	157	157	100
	60	0	179	179	100
	65	0	209	209	100
	70	0	206	206	100
6,6*10 ⁻⁴	45	248	2	250	0,8
	50	157	64	221	28,9
	55	0	242	242	100
	60	0	123	123	100
	65	0	144	144	100
	70	0	192	192	100
Branco	20	215	68	283	24,0

Tabela G2 - Número de ovos Ascaris/1ml em biossólido digerido com 1,12 g/l de sólidos totais em reator tubular

Vazão (m ³ /h)	Temperatura (°C)	Viáveis	Inviáveis	Total/1ml	%Inativação
2,55*10 ⁻⁴	45	70	32	102	31,4
	50	61	35	96	36,5
	55	17	67	84	79,8
	60	0	120	120	100
	65	0	106	106	100
	70	0	212	212	100
	75	0	87	87	100
6,6*10 ⁻⁴	45	132	60	192	31,2
	50	46	23	69	33,3
	55	39	66	105	62,9
	60	0	55	55	100
	65	0	151	151	100
	70	0	174	174	100
	75	0	133	133	100
Branco	20	156	47	203	30,0

**ANEXO H – Modelagem matemática do reator tubular com perfil de
temperatura axial e escoamento tubular ideal**

O reator tubular foi dividido em seções axiais, numeradas, sequencialmente, de 1 até s , nas quais a temperatura e a conversão dos ovos de *Ascaris* foram calculadas.

A Figura H.1 mostra o fluxograma de rotina de cálculo utilizada para se obter os perfis de temperatura e conversão ao longo do comprimento do reator.

Um exemplo numérico de cálculo dos perfis de conversão e temperatura, ao longo do comprimento do reator tubular, foi apresentado para melhor ilustrar como os cálculos foram efetuados. Os dados foram os do reator, operando com ovos de *Ascaris* em suspensão aquosa, na vazão de $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ e temperatura, no início do tubo de retenção, de 50°C .

Exemplo Numérico

1- Dados Iniciais:

Energia de ativação	E (cal/mol)	145900
Constante universal dos gases ideais	R (cal/mol/K)	1,987
Logaritmo natural do fator de frequência	k_o (min^{-1})	223,8
Comprimento do trocador de calor	L_I (m)	3,85
Comprimento do tubo de retenção	L_2 (m)	8,65
Comprimento total do reator	L_t (m)	12,5
Temperatura de entrada do produto no reator	T_0 ($^\circ\text{C}$)	20
Temperatura do produto no início do tubo de retenção	T_I ($^\circ\text{C}$)	50
Temperatura do produto na saída do reator	T_2 ($^\circ\text{C}$)	49
Temperatura do vapor	T_v ($^\circ\text{C}$)	120
Temperatura do ar	T_{ar} ($^\circ\text{C}$)	20
Vazão volumétrica do produto	Q (m^3/min)	0,0153
Massa específica do produto	ρ (kg/m^3)	1000
Diâmetro interno do tubo interno	D (m)	0,0045
Capacidade calorífica	C_p (cal/kg/ $^\circ\text{C}$)	1000
Passo de cada iteração na direção axial	ΔZ (m)	0,1

Figura H.1 - Fluxograma representando a rotina de cálculo empregada para obter os perfis de conversão de ovos de *Ascaris* e temperatura ao longo do comprimento do reator tubular.

2 - O cálculo de U_1 é feito, utilizando-se a equação (55):

$$U_1 = -\frac{\rho Q C_p}{\pi D L_1} \ln \frac{(T_v - T_1)}{(T_v - T_o)}$$

$$U_1 = \frac{-1000 * 0,0153 * 1000}{3,1416 * 0,0045 * 3,85} \ln \frac{(120 - 50)}{(120 - 20)}$$

$$U_1 = 27,85 \text{ cal/min.m}^2\text{°C}$$

E o cálculo de U_2 é feito, aplicando-se a equação (56):

$$U_2 = -\frac{\rho Q C_p}{\pi D(L_2 - L_1)} \ln \frac{(T_{ar} - T_2)}{(T_{ar} - T_1)}$$

$$U_2 = -\frac{1000 * 0,0153 * 1000}{3,1416 * 0,0045 * (8,65 - 3,85)} \ln \frac{(20 - 49)}{(20 - 50)}$$

$$U_2 = 2,12 \text{ cal/min.m}^2\text{°C}$$

3, 4 e 5 - Para a condição inicial $Z = 0$ $T = T_0$, $X_N = 0$, ou seja, $L=0$ e $T = 20^\circ\text{C}$ e a conversão é zero . Calcula-se k pela equação (22):

$$k = k_0 e^{-E/RT}$$

$$k = 1,567 * 10^{97} e^{-\frac{145900}{1,987 * 293,15}}$$

$$k = 2,59 * 10^{-12} \text{ min}^{-1}$$

6 - Utilizando-se a equação (62), calcula-se dX_N/dZ :

$$\frac{dX_N}{dZ} = \frac{\pi D^2 k}{4Q} (1 - X_N)$$

$$\frac{dX_N}{dZ} = \frac{3,1416 * 0,0045^2 * 2,59 * 10^{-12}}{4 * 0,0153} * (1 - 0)$$

$$\frac{dX_N}{dZ} = 9,71 * 10^{-12} / m$$

7 - Para a próxima iteração na direção axial

$$Z_{n+1} = Z_n + \Delta Z$$

$$Z_{n+1} = 0 + 0,1$$

$$Z_{n+1} = 0,1 \text{ m}$$

8 - X_N é calculado pela equação (64):

$$X_N(z + \Delta z) = X_N(z) + \frac{dX_N}{dZ} \Delta Z$$

$$X_{N(Z+\Delta Z)} = 0 + 9,71 * 10^{-12} * 0,1$$

$$X_{N(Z+\Delta Z)} = 9,71 \cdot 10^{-13}$$

9 - Para a próxima iteração, como $Z = 0,1$ m, logo Z é menor ou igual que Z_l e Z_t , portanto, $T_{(Z)}$ é calculada pela equação (57):

$$T_{(Z)} = T_o e^{\frac{-\pi D Z U_1}{\rho Q C_p}}$$

$$T_{(Z)} = 20 * e^{\frac{-3,1416 * 0,0045 * 0,1 * 27,85}{1000 * 0,0153 * 1000}}$$

$$T_{(Z)} = 20,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Em seguida, calcula-se k , aplicando-se a equação (5), dX_N/dZ , a equação (62), e faz-se a próxima iteração na direção axial:

$$Z_{n+1} = Z_n + \Delta Z$$

$$Z_{n+1} = 0,1 + 0,1$$

$$Z_{n+1} = 0,2 \text{ m}$$

Determina-se então, X_N pela equação (64), item 8, testa-se Z no item 9, e continua-se, sucessivamente, utilizando a equação (57) para o cálculo de $T_{(Z)}$, até que Z seja maior que L_l , a partir daí, utiliza-se a equação (58) para o cálculo de $T_{(Z)}$:

$$T_{(Z)} = T_1 e^{\frac{-\pi D U_2 (Z - L_1)}{\rho Q C_p}}$$

$$T_{(Z)} = 50 e^{\frac{-3,1416 * 0,0045 * 2,12 (3,90 - 3,85)}{1000 * 0,0153 * 1000}}$$

$$T_{(Z)} = 49,99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Uma vez determinada $T_{(Z)}$, determina-se k , dX_N/dZ , Z_{n+1} e X_N . Como exposto no caso anterior, as iterações continuam, até que Z seja maior do que L_t , quando então, verifica-se, para o cálculo visto, se já foram estimados os perfis de conversão e temperatura ao longo de todo o comprimento do reator tubular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, S. L.; SORENSEN, D.L. Kinetics of Pathogen Destruction During Storage of Dewatered Biosolids. **Water Environment Research**. V.67, n.2, 1995.
- ANDREOLI, C. V.; BONNET, R. P. **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Biossólido**. SANEPAR, Curitiba, 1988.
- ARCEIVALA, S. J. **Wastewater Treatment and Disposal**. Marcel Dekker INC, New York, 1981.
- ANGUS, K. W. Survival of *Cryptosporidium* in Excreta: Zoonotic Aspects of Infections and Possible Implications for Spread by the Agricultural Use of Sewage Sludge. In **Epidemiological Studies of Risks Associated with the Agricultural Use of Sewage Sludge: Knowledge and Need**. BLOCK, J. C.; HAVELAAR, A H. 1986.
- BEAN, C.L.; BRABANTS, J.J. Lab Analyses Ascaris Ova Recovery Rates Using Protocols. **Biosolids Technology Bulletin**, v.7, n.5, 2001.
- BERG, T. **Untersuchungen Über die Entseuchende Wirkung von Verfahren zur Pasteurisierung, Kompostierung und Verfestigung von Klärschlamm**. 292p.. Tese (Doutorado)- Fachbereich Tierproduktion der Universität Hohenheim, Hohenheim, 1978.
- BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. Willey series in ecological and applied microbiology. USA: Willey-Liss Inc, 1994.
- BLACK, M.I.; SCARPINO, P.V.; O'DONNELL, C.J.; MEYERS, K.B. Survival Rates of Parasite Eggs in Sludge During Aerobic and Anaerobic Digestion. **Applied and Environmental Microbiology**, v.44, n.5, 1982.

BLAMIRE, R. V.; GOODHAND, R. H.; TAYLOR, K. C. A Review of Some Animal Diseases Encountered at Meat Inspections in England and Wales, 1969-1978. **Veterinary Record**, v.106, n.9, 1980.

BONNET, B.R.P.; LARA, A I, DOMASZAK, S.C. Indicadores Biológicos de qualidade Sanitária do Biossólido. In **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Biossólido**. Curitiba, SANEPAR, 2000. .

BOWMAN, D.D.; LITTLE, M D, REIMERS, R.S. Precision and Accuracy of an Assay for Detecting Ascaris Eggs in various biosolid matrices. **Water Research**, v 37, n 2, 2003.

BRUCE, A. M.; OLIVER B. Heating and Cooling of Sewage Sludges – Some Recent Developments. **Water Pollution Control**, v. 86, n. 1, 1987.

BRUCE, A M.; PIKE, E.B.; FISCHER, W.J. A Review of Treatment Process Options to Meet The EC Sludge Directive. **Journal of the Institution of Water and Environmental Management**, v. 4, n. 1, 1990

BURNETT, R. C. S.; MACLEOD, A F.; TWEEDIE, J. An Outbreak of Salmonellosis in West Lothian. **Communicable Disease Scotland**, v. 14, n. 5, 1980

CARRINGTON, E.G. Pausterization; Effects Upon Ascaris Eggs. IN : **Inactivation of Microorganisms in Sewage Sludge by Stabilization Processes**, Elsevier Applied Science Publishers Luxemburgo,1985.

CDSC. Communicable Disease Surveillance Centre. **Communicable Disease Report**, CDR 82/38, 1981.

CETESB: Companhia de Tecnologia Ambiental. **Aplicação de Biossólidos em áreas agrícolas: Critérios para Projeto e Operação.** Manual técnico. Norma P4230, São Paulo, 1999.

CHAKRABANDHU, K. **Aseptic Processing of particulate Foods: Computational Models and Experimental Studies.** 2000 208p.. Tese (Doutorado)- Purdue University, West Lafayette, 2000.

CRAM, E. B. The Effect of Various Treatment Processes on the Survival of Helminth Ova and Protozoan Cysts in Sewage. **Sewage Works Journal**, v. 15, n. 6, 1943.

CROMPTON, D.W.; JOYNER, S.M. **Parasitic Worms** . Wykeham Publications, London, 1980.

DEAN, R. B.; SMITH, J. E. The Properties of Sludges. **Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land.** Joint Conference on July 9-13. EPA, USDA, National Association of State universities and Land-Grant Colleges, 1973.

DOE/NWC **Report of the Sub-Committee on the Disposal of Sewage Sludge to Land.** Standing Technical Committee Reports Nº 20, Department of the Environment and National Water Council, London, 1981.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **Environmental. Control of pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge,** Regulation and Technology, EPA/625/R-92/013, Cincinnati, USA, 1992

_____. **A plain English guide to the E.P.A Part 503 Biosolids Rule** U.S.EPA, Washington, 1994.

FAIR, G. M.; GEYER, J.C. **Water Supply and Wastewater Disposal.** John Supply & Sons Inc, New York, 1959.

FEACHEM, R.G. et al. **Sanitation and Disease – health aspects of excreta and wastewater Management**. John Wiley & Sons, Chichester, 1983.

FERNANDES, F et al. Normatização para Reciclagem Agrícola do Biossólido. In **Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em soluções**. SANEPAR, Curitiba, 1999.

FERNANDES, F. Estabilização e Higienização de Biossólidos. IN : **Impacto Ambiental do Uso Agrícola de Biossólido**, EMBRAPA, Jaguariúna, 2000.

FOGLER, H. S. **Elements of Chemical Reaction Engineering**. Prentice Hall, 3ª edição, New Jersey, 2002

FOLIGUET, J.M.; DONCOEUR, F. Inactivation Assays of Enteroviruses and Salmonella in Fresh and Digested Wastewater Sludges by Pausterization. **Water Research**, v. 6, n. 4, 1972.

FOSTER, D. H.; ENGELBRECHT R. S.. Microbial Hazards of Disposing of Wastewater on Soil. **Conferency Recycling Treated Municipal Wastewater Through Forest and Cropland**. EPA 660/2-74-003, 1974.

GASI, T. M. **Microorganismos em Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manto de biossólido Operando com esgoto Doméstico**, Dissertação de Mestrado, Escola de Saúde Pública -U.S.P., 1991.

GHIGLIETTI, R.; ROSSI, P., COLOMBI, A Viability of Ascaris suum, Ascaris Lumbricoides and Trichuris Muris Eggs to Alkaline pH and Different Temperatures. **Parassitologia**, v. 37, n. 3, 1995.

HELMER, R.; HESPANHOL I.; SALIBA, L.J. Public Health Criteria dor the Aquatic Environmental: Recent WHO Guidelines and their Application. **Water Science and technology**, v. 24, n. 2, 1991

HESPANHOL, I. Guidelines and Integrated Measures for Public Health Protection in Agricultural Reuse Systems. **Journal Water SRT**, v.39, n. 4, 1990.

HESPANHOL, I. Saúde Pública e Reuso Agrícola de Esgotos e Biossólidos. IN: **Reuso de Água**. MANCUSO P.C. S.; SANTOS H. F. USP.FSP, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 2003.

HUBER, J.; MIHALYFY. Experiences with the pre-pasteurisation of Sewage sludge with heat recovery. IN : **Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection**, Water Resource Centre, England, 1984.

IPT; Unidade Piloto para Disposição Final de Biossólido – Agregado Leve de Biossólido para Concreto, Brochura do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1979.

KABRICK, R.M.; JEWELL, W.J. Fate of Pathogens in Thermofilic Aerobic Sludge Digestion. **Water Research**, v. 16, n. 4, 1982.

KELLER, P. Sterilization of Sewage Sludges. Proceeding Institute Sewage Purification, v. 92. N.1, 1951.

KLABER, P. The Removal of Pathogenic Organisms by Sewage Treatment Processes. A Review Article.. **Sewage Industrial Wastes**, v.31, n. 4, 1959.

KOOT, H. detection and variability of Endamoeba Histolytica Cysts in Sewage Effluents. **Water Sewage Works**, v. 114. N.1, 1967.

KORENTAJER – SOIL AND IRRIGATION RESEARCH INSTITUTE. A Review of the Agricultural Use of Sewage Sludge: Benefits and Potential Harzards. **Water S.A.**, v.17, n.3, 1991.

KOWAL, N.F. **Health Effects of Land Application of Municipal Sludge**. EPA/600/1-85/015. Research Triangle Park, USA, 1985.

LATHAM, J. L. **Cinética Elementar de Reação**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

LECLER, H.; BROUZES P. Sanitary Aspects of Sludge Treatment. **Water Resources**, v.7, n.4, 1973

LEVENSPIEL, O. **Cinética Química Aplicada**. Edgard Blucher Ltda, 3º edição, São Paulo, 1988

LIEBMANN N. D. **Parasites in Sewage and the Possibilities of their Extinction**. Water Pollution Resource Proceeding, Pergamon Press, Tokio, 1964.

LUND, E. Activities of Working Party 3 “Biological Pollution of Sludge”. Introductory remarks. IN **Characterization, Treatment and Use of Sewage Sludge**, Proceedings of the Second European Symposium, Viena, 1980.

MAFF. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Welsh Office Agriculture Department and Department of Agriculture for Scotland. **Salmonellosis (Report under Zoonoses Order 1975)**, Annual Summary, Central Veterinary Laboratory, Weybridge, 1981.

MALTA, L. R. S. **Otimização da estabilização cálcica do biossólidos para uso agrícola. Estudo de caso: ETE Lavapés/São José dos Campos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 2002.

MARTIN, J.H.; BOSTIAN, H.E.; STERN, G. Reductions of Enteric Microorganisms During Aerobic Sludge Digestion. **Water Research**, v.24, n.11, 1990.

MATTHEWS, P.; LINDER, K.H. A Global Atlas of Wastewater Sludge and Biosolids Use and Disposal. International Association on Water Quality:IAWQ. London, 1996.

MELMED, L.N.; COMNINOS, D.K. Disinfection of Sewage Sludge with Gamma Radiation. **Water S.A.**, v. 5, n. 4, 1979.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O Potencial do Biossólido como fonte de Nutrientes para as plantas. IN : **Impacto Ambiental do Uso Agrícola de Biossólido**, EMBRAPA, Jaguariúna, 2000.

METCALF L.; EDDY H.P. Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse, Mc. Graw Hill, Singapore, 1991.

MEYER, K. B.; MILLER, K. D.; KANESHIRO, E. S. Recovery of Ascaris Eggs from Sludges. **The Journal of Parasitology**, v. 64, n. 2, 1978.

MIJARES, G. R. Water Pollution Resources. **Proceeding 2nd International Conference Tokyo**. Pergamon press, Oxford, 1964.

NETTO, J. M. A Aproveitamento do Gás de Esgoto. Revista DAEE. V.22, n.41, 1961.

NEWTON, W. L.; BENNETT, H. J.; FIGGGAT, W. B. Observation on the Effects of Various Sewage Treatment processes Upon Eggs of Taenia Saginata. **Journal Hygienic**, v.49, n. 4, 1949.

NRC: National Research Council. **Committee on the Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption**. Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production. Washington, D.C., 1996.

OSBORN, D.W.; HATTING, W.H.J. Disinfection of Sewage Sludge: A Review. **Water S.A** ,v.4, n.4, 1978.

PERRY, R. H. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. McGraw-Hill International Editions, New York, 1984.

PESSÔA, S. B., MARTINS, A V. **Parasitologia Médica**. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 9 edição, 1974.

PIKE, E. B.; ALDERSLADE, R. Salmonellosis. **Report on the Progress in Research of the Use of Sewage Sludge**. Sub-Committee on the Disposal of Sewage Sludge to Land, Working Group 3 (Research), Department of the Environment, London, 1981.

PIKE, E.B.;CARRINGTON, E.G. Inactivation of Ova of the Parasites Taenia Saginata and Ascaris suum During Heated Anaerobic Digestion. **Water Pollution Control**, v.85, n. 4, 1983.

PIKE, E.B.; DAVIS, R.D. sStabilisation and Disinfection – Their Relevance to Agricultural Utilization of Sludge. IN: **Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection**. BRUCE A M. BSC MIWPC WRC. Water Research Centre, England, 1984.

PIKE, E.B. Pathogens in Sewage Sludge: Agricultural Use of Sewage Sludge and the Control of Disease. **Water Pollution Control**, v. 85, n. 4, 1986,

REBOUÇAS, A C.; BRAGA, B.;TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil. – Capital Ecológico, Uso e Conservação**. Escrituras, São Paulo, 1999.

REDDISH, G. F. **Antiseptics, Desinfectants Fungicides, and Chemical e Physical Sterilization** LEA & Febiger, 2º edição, Philadelphia, 1957

REHM, H.J.; REED,G.; SCHONBORN, W. IN: **Biotechnology - Microbial Degradation**. v.8, VCH Verlagsgesellschaft, Federal Republic do Germany, 1986.

REILLY, W. J.; COLLIER, P. W.; FORBES, G. I. Cysticercus Bovis Surveillance – an Interim Report, **Communicable Disease Scotland**, CDS 81/22, 1981

REYES, W. L.; KRUSE, C. W.; BATSON, M. The Effect of Anaerobic Digestion on Eggs of Ascaris lumbricoides var. suum in Nightsoil. **American Journal Tropical Medicine**, v. 12, n. 6, 1963.

RICHARDS, J. W. **Introduction to Industrial Sterilization**. Academic Press, London, 1968.

ROWE, D. R. Anaerobic Sludge Digestion Mesophilic, Thermophilic. **Water Sewage Works**, v. 118, n. 6, 1971.

RUDOLFS, W.; ROGOTZKE, R. A Literature Review on the Occurrence and Survival of Enteric Pathogenic and Related Organisms in Soil, Water, Sewage and Sludges, and on Vegetation. **Sewage Industrial Wastes**, v. 22, n.34, 1950.

SANTOS, H.F. **Uso Agrícola do Biossólido das Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários(ETEs)**: subsídios para elaboração de uma norma brasileira. São Paulo: Universidade Mackenzie, 1996. Dissertação de Mestrado.

SMITH, J.M. **Chemical Engineering Kinetics**. McGraw Hill Book Company, New York, 1957

STEER, A G.; WINDT, C.N. Composting and Fate of Ascaris Lumbricoides Ova. **Water S.A**, v.4, n.3, 1978.

STRAUCH, D. The Present Situation of Sewage Sludge Utilization in Europe: **SA Water Bulletin** V 16, n 7, 1989.

STRAUCH, D.; BERG, T. Mikrobiologische Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm (Averiguação Microbiológica para Higienização do Biossólido). **Gwf- Wasser/Abwasser**, v.121, n.4, 1980.

SUNDSTROM, W.D.; KLEI, H.E. **Wastewater Treatment**. Prentice Hall INC, Connecticut, 1979.

TOLEDO, R.T. **Fundamentals of Food Processing Engineering**. Chapman &Hall, New York, 1999.

TSUTYA, M.T. Alternativas de Disposição Final de Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgoto. IN : **Impacto Ambiental do Uso Agrícola de Biossólido**, EMBRAPA, Jaguariúna, 2000.

TSUTYA, M.T. Alternativas de Disposição Final de Biossólidos. IN : **Biossólidos na Agricultura**. TSUTIYA, M.T. et al. Eds. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo: SABESP., 2001

US EPA **Process Design Manual for land application of Municipal Sludge**. EPA-625/1-83-16. US Governing Printing Office, Washington DC, USA, 1983.

_____. **Summary of Environmental Profiles and hazard Indices for Constituents of Municipal Sludge: Methods and Results**. US Office,of Water Regulations and Standards, Washington DC, USA, 1985.

WAITE, W.M.; FINCH, P.E. Pathogens in Sewage Sludge: Heat-Inactivation of Salmonella in Raw Sewage Sludge. **Water Pollution Control**, v.85, n.4, 1986.

WANG, D. I. C.; COONEY, C. L.; DEMAIN, A. L.; DUNNILL, L. P.; HUMPREY, A. E.; LILLY, M. D. **Fermentation and Enzyme Technology**. John Wiley & Sons, New York, 1979.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Beneficial Use: Programs for Biosolids Management**. Special Publication., Alexandria, 1994

WEF: Water Environment Federation. **Biosolids Composting: Special Publication**. Alexandria, USA, 1995

WILEY, J. S. pathogen Survival in Composting Municipal Wastes. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 34, n. 6, 1962.

WILLIAMS, J. F.; SOULZBY, J. L. Antigenic Analysis of Developmental Stages of *Ascaris suum*: In Comparison of Eggs Larvae and Adults. **Parasitology**, v.27, n.3, 1970.

WORLD HEALTH ORGANIZATION **The Risks to Health of Microbes in Sewage Sludge Applied to Land**, Report of a WHO Scientific Group. N° 54, Copenhagen, 1981.

_____. **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture**, Report of a WHO Scientific Group. TRS 778, Geneva, 1989.

WRC: WATER RESEARCH CENTRE. **Sewage Sludge Stabilization and Disinfection**. A M. Bruce, England, 1984.

YANKO, W.A. Occurrence of Pathogens in Distribution and Marketing Municipal Sludge. IN: **Environmental Regulation and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge** U.S. EPA Washington, 1992.