

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAQUEL PINHEIRO POMPEO

INFLUÊNCIA DA ESTOCAGEM PROLONGADA DE LODOS DE ESGOTO,  
EM DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS, NA REDUÇÃO DE  
PATÓGENOS, VISANDO A RECICLAGEM AGRÍCOLA

CURITIBA  
2015

RAQUEL PINHEIRO POMPEO

INFLUÊNCIA DA ESTOCAGEM PROLONGADA DE LODOS DE ESGOTO,  
EM DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS, NA REDUÇÃO DE  
PATÓGENOS, VISANDO A RECICLAGEM AGRÍCOLA

Tese apresentada como requisito à obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Miguel Mansur Aisse

Co-orientador: Prof. Cleverson Vítório Andreoli

Aluno: Raquel Pinheiro Pompeo

CURITIBA  
2015

---

P788i

Pompeo, Raquel Pinheiro

Influência da estocagem prolongada de lodos de esgoto, em diferentes condições operacionais, na redução de patógenos, visando a reciclagem agrícola / Raquel Pinheiro Pompeo. – Curitiba, 2015.

237 f. : il. color. ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2015.

Orientador: Miguel Mansur Aisse – Co-orientador: Cleverson Vítório Andreoli, .

Bibliografia: p. 204-234.

1. Lodo de esgoto. 2. Biossólido. 3. Helminto. 4. Lodo residual como fertilizante. 5. Resíduos agrícolas. I. Universidade Federal do Paraná. II. Aisse, Miguel Mansur. III. Andreoli, Cleverson Vítório . IV. Título.

CDD: 628.36

---



## TERMO DE APROVAÇÃO

### Raquel Pinheiro Pompeo

#### “Influência da Estocagem Prolongada de Lodos de Esgoto, em Diferentes Condições Operacionais, na Redução de Patógenos visando a reciclagem agrícola”

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

**Miguel Mansur Aisse**  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador

MEMBROS:

**Cleverson Vitorio Andreoli**  
Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade  
do Instituto Superior de Administração e Economia/ ISAE/FGV  
Co-Orientador

**Ronaldo Stefanutti**  
Universidade Federal do Ceará

**Fernando Fernandes**  
Universidade Estadual de Londrina

**Edilene Alcântara de Castro**  
Universidade Federal do Paraná

**Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes**  
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 17 de novembro de 2015

*Aos meus amados pais,  
Maria Arlete e Roberto*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por cada momento da minha jornada.

Aos meus pais, Arlete e Roberto, pelo que sou hoje e pelo que representam em minha vida.

Aos meus filhos, Leopoldo e Heloisa, pelo amor incondicional.

Ao meu orientador, professor Miguel Mansur Aisse, por seu exemplo pessoal, profissional e sua dedicação.

Ao meu coorientador, professor Cleverson V. Andreoli, pela oportunidade, confiança e amizade.

A professora Edilene Alcântara de Castro, pela dedicação e competência.

As professoras Rosângela Paulino, Vanete Thomaz - Soccol e Eliane Vasconcelos pelo apoio.

A professora Anna Tereza Bittencourt, pelos ensinamentos.

Ao querido amigo Guilherme Samways, comigo desde o início.

Aos meus irmãos Roberto Pompeo, Cynthia Henz e em especial a minha irmã Simone Pompeo, pela força e amizade.

A melhor madrastra que existe, Sonia Pompeo.

A querida amiga Thelma Regina, pela amizade de tantos anos.

Aos queridos André e Carol, pelos bons momentos.

Aos amigos Maria Carol Rocha, Simone Bittencourt, Adelino Maccarini, Luciane Prado, Julio Werner, Juan Sanez e Tais Canova.

Aos colegas André Trafca, Pabline Daros, Jessica Junglos, Ahavene Simokado, Rafael Farah, Francini dos Reis, Thiago Bollmann, Ariel Kollross, Ana Carolina Domakoski, Tamires O. de Melo, pelo apoio.

Aos colegas Ellen Baettker e Julio Rietow, por compartilhar o espaço.

Aos funcionários da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, Charles Carneiro, Eduardo Pegorini, Antonio Everson Nairne, Cynthia Malaghini, Ignacio de Andrade, Isaias Avilar de Almeida, Jair Ricardo Dias, Jarbas José Massaneiro, Nelson Mardegan Rui Mendes Junior, que contribuíram no desenvolvimento deste trabalho

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná, em especial ao professor Cristóvão Scapulatempo Fernandes, pela inspiração e exemplo; e ao professor Tobias Bleninger pela dedicação frente à coordenação do programa.

Aos professores, funcionários e amigos do PPGERHA.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo suporte financeiro.

A Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP pelo financiamento do projeto.

POMPEO, R. P.. Influência da estocagem prolongada de lodos de esgoto, em diferentes condições operacionais, na redução de patógenos visando a reciclagem agrícola. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2015.

## RESUMO

Para que o uso agrícola do lodo de esgoto seja possível no Brasil, parâmetros de qualidade sanitária, definidos na Resolução Conama 375/2006, devem ser atendidos. Para tanto, geralmente é necessária a adoção de métodos de higienização do lodo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a estocagem prolongada como método de higienização do lodo, acompanhando de forma controlada os fatores que afetam o decaimento de ovos de *Ascaris*, coliformes termotolerantes e *Salmonella* spp. em lodos oriundos de tanques sépticos e de reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), desaguados em leito de secagem e em centrífuga. A pesquisa foi desenvolvida nas cidades de Fazenda Rio Grande (FRG) e Apucarana, no Estado do Paraná, Sul do Brasil. Foram realizados 18 tratamentos experimentais, 16 deles com quatro repetições cada e dois sem repetição, formando ao todo 66 unidades experimentais. Os lodos foram submetidos a condições operacionais diferenciadas: com/sem revolvimento manual e com/sem disposição sob cobertura, comumente empregada no armazenamento do lodo, e também condições climáticas distintas nos dois municípios. Foram realizadas nove coletas, uma na implementação do experimento e em 4, 9, 13, 17, 30, 47, 61 e 104 semanas. Dos sete tratamentos realizados com lodo de tanque séptico, dois atenderam a Resolução Conama 375/06 para obtenção de lodo Classe A (0,25 ovo viável/g ST) ambos realizados no município de Apucarana. Os limites de coliformes termotolerantes ( $<10^3$  NMP/g ST) e *Salmonella* spp. (ausência em 10g ST) para lodo Classe A foram alcançados em todos os tratamentos, num período inferior a dois anos. Os tratamentos (sete) com lodo de reator UASB desaguado em leito, atenderam ao Conama em todos os parâmetros avaliados. Em nove semanas de estocagem do lodo foram obtidos valores menores que 0,25 ovo viável/g ST em todos os tratamentos, sendo que o número inicial de ovos viáveis de *Ascaris* nesse lodo era inferior a 3 ovos viáveis/g. O tempo necessário para obtenção do lodo higienizado foi de 61 semanas, tendo como parâmetro limitante a *Salmonella* spp.. No lodo de reator UASB, desaguado em centrífuga, que apresentou maior contaminação inicial de ovos, foram necessários dois anos de estocagem para que os lodos com cobertura alcançassem o valor estipulado pela Resolução. Nos tratamentos sem cobertura esse valor não foi alcançado. Os dois tratamentos (com e sem revolvimento, em pátio coberto) apresentaram os teores mais elevados de sólidos totais, 72% e 80%, entre os tratamentos realizados. Para coliformes, foram necessárias 30 semanas de estocagem do lodo nos tratamentos realizados, em pátio coberto, em Fazenda Rio Grande, para que atingisse concentrações inferiores a  $10^3$  NMP/g ST e 47 semanas nos tratamentos realizados em pátio descoberto. Os tratamentos realizados em pátio coberto mostraram-se mais eficientes do que os realizados em pátio descoberto no decaimento das bactérias. Quanto ao revolvimento das unidades experimentais, a influência positiva ocorreu nos tratamentos realizados em pátio descoberto no decaimento da *Salmonella* spp.. Na avaliação da prevalência de ovos de helmintos ao longo do tempo, a fauna parasitária encontrada no lodo séptico foi: *Ascaris* sp., *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *T. vulpis*, *Trichuroidea*, *H. diminuta* e *Taenia* sp.. Ovos de *Ascaris* sp. foram encontrados em 100% das amostras analisadas, com maior prevalência sobre

os demais helmintos. Foi realizada também uma pesquisa que teve como objetivo avaliar a higienização de lodo anaeróbio quando desaguado em leitos de secagem, utilizando os parâmetros de coliformes termotolerantes e ovos de *Ascaris* sp.. O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira, foi realizada a contagem de ovos do lodo oriundo de Reator UASB e desaguado em dois leitos de secagem modificados (5 x 3 m). Na segunda etapa, um dos leitos foi dividido em 6 pequenos leitos (50 x 50 cm) e foi inoculado número conhecido de ovos de *Ascaris summ* (20 ovos viáveis/g ST). Ao final de um ciclo de secagem de 30 dias, foram obtidos valores de 0 a 1,24 ovo viável/g ST e redução de coliformes fecais de  $10^{11}$  NMP/g ST para valores entre  $10^1$  e  $10^2$  NMP/g ST. Apesar de não atingir o limite estipulado pela Resolução Conama para uso agrícola, o leito de secagem mostrou-se um mecanismo adequado de desinfecção do lodo.

Palavras-chave: Biossólido. Helminto. Leito de secagem. Lodo anaeróbio; Reator UASB. Lodo de Tanque séptico.



POMPEO, R. P.. Influence of long-term storage of sewage sludge in different operating conditions, reducing pathogens aimed at agricultural recycling. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2015.

## ABSTRACT

For being possible the use of sewage sludge in agriculture in Brazil, sanitation quality parameters, defined by CONAMA Resolution 375/2006, must be achieved. Therefore, it is usually necessary to adopt sludge sanitation methods. The aim of this research was to evaluate the long-term storage as sludge hygienization method, following by a controlled manner the factors affecting the decay of *Ascaris* eggs, fecal coliforms and *Salmonella* spp., in sludges coming from septic tanks and Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB), dewatered on drying bed and centrifugation. The research was conducted in the cities of Fazenda Rio Grande and Apucarana in the state of Paraná, southern Brazil. Were performed 18 experimental treatments, 16 of them with four replications each and two without repetition, forming a total of 66 experimental units. The sludge were subjected to different operating conditions, with / without manual plowing and with / without provision under cover, and also different climatic conditions in the two municipalities. Nine samples were taken in the implementation of the experiment and 4, 9, 13, 17, 30, 47, 61 and in 104 weeks. Of the seven treatments performed with septic tank sludge, two attended the CONAMA to obtain Class A sludge (0.25 viable eggs / g total solids (TS)), both held in the city of Apucarana. The limits for termotolerantes fecal coliforms ( $<10^3$  MPN/g total solids) and *Salmonella* spp. (absence in 10g total solids) for Class A sludge were achieved in all treatments, in less than two years. The treatments (seven) with reactor UASB dewatered sludge in drying beds attended the CONAMA in all evaluated parameters. In nine weeks of sludge storage, were obtained values  $<0.25$  viable eggs/g total solids in all treatments, the initial number of viable eggs of *Ascaris* this sludge was less than 3 viable eggs/g TS. The time required for obtaining sanitized sludge was 61 weeks, with the limiting parameter *Salmonella* spp.. In the UASB reactor sludge dewatered in a centrifuge, with the highest initial contamination of eggs, it took two years of storage for the sludge with coverage to reach the amount stipulated by CONAMA Resolution. In the treatments without cover, this number has not been reached. The two treatments (with and without disturbance in a covered windrow) had the highest levels of total solids, 72% and 80% between all the treatments. To coliforms, it took 30 weeks of sludge storage in the treatments carried out on the covered patio in Fazenda Rio Grande to reach concentrations lower than  $10^3$  MPN / g ST and 47 weeks for the treatments performed on the outdoor patio. The treatments performed in a covered patio proved to be more efficient than the open-air treatments in decay of bacteria. As for the disturbance of the experimental units, the positive influence occurred in treatments performed in an outdoor patio for decay of *Salmonella*. Assessing the prevalence of helminth eggs in sewage sludge long-term storage, the parasitic fauna found in sludge was *Ascaris* sp., *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *Trichuris vulpis*, *Trichuroidea*, *Hymenolepis diminuta* and *Taenia* sp.. *Ascaris* eggs were found in 100% of the samples, with the highest prevalence among helminths. It was also carried out a survey that aimed to evaluate the sanitation of anaerobic sludge dewatered on drying beds, as the coliform parameters and eggs of *Ascaris* sp.. The experiment was conducted in two stages. At first it was held the sludge egg count come from UASB reactor and dewatered in two modified drying

beds (5 x 3 m). In the second stage, one of the drying bed was divided into 6 small beds (50 x 50 cm) and was inoculated *Ascaris sum* known numbers of eggs (20 viable eggs / g TS). At the end of a 30 days the drying cycle, were obtained values between 0 and 1,24 viable eggs / g TS and a reduction of fecal coliform  $10^{11}$  MPN / g TS to values between  $10^1$  and  $10^2$  MPN / g TS. Although not reach the limit set by Conama for agricultural use, the drying bed proved to be an adequate sludge disinfection mechanism.

Keywords: Biosolids. Helminth. Bed drying. Anaerobic sludge; UASB. Sludge of septic tank.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – TRATAMENTO PRIMÁRIO E PONTOS DE GERAÇÃO DE REJEITOS .....	30
FIGURA 2.2 – TRATAMENTO SECUNDÁRIO POR REATOR ANAERÓBIO .....	31
FIGURA 2.3 – TRATAMENTO SECUNDÁRIO POR LODOS ATIVADOS E PONTOS DE GERAÇÃO DE SUBPRODUTOS SÓLIDOS .....	32
FIGURA 2.4 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE GERENCIAMENTO DE LODO .....	33
FIGURA 2.5 – ILUSTRAÇÃO DE UM REATOR UASB EM PERFIL.....	36
FIGURA 2.6 – FUNCIONAMENTO GERAL DE UM TANQUE SÉPTICO.....	38
FIGURA 2.7 – PERFIL ESQUEMÁTICO DE UM LEITO DE SECAGEM .....	44
FIGURA 2.8 – VISTA GERAL DE LEITO DE SECAGEM CONVENCIONAL.....	45
FIGURA 2.9 – RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE APLICAÇÃO E O TEMPO NECESSÁRIO PARA OBTENÇÃO DE DIFERENTES UMIDADES UTILIZANDO DADOS DE DIFERENTES PESQUISADORES.....	46
FIGURA 2.10 – MORFOLOGIA DOS OVOS DE <i>ASCARIS SUUM</i> EM MEV: A) OVO COM MAMILONADA; B) DETALHE DA JUNÇÃO ENTRE AS MEMBRANAS MAMILONADA E VITELÍNICA; C) OVO PARCIALMENTE DECORTICADO; D) OVO DECORTICADO.....	59
FIGURA 2.11 – ULTRAESTRUTURA DA CASCA DE OVO DE <i>A. SUMM</i> : M - MEMBRANA MAMILONADA; V - MEMBRANA VITELÍNICA; MEMBRANA QUITINOSA; L - MEMBRANA LIPÍDICA.....	60
FIGURA 2.12 – TEMPO-TEMPERATURAS REQUERIDOS PARA INATIVAÇÃO DE PATÓGENOS ..	71
FIGURA 2.13 – PÁTIOS COBERTOS PARA ARMAZENAGEM DO LODO ALCALINIZADO EM ETE DA SANEPAR.....	78
FIGURA 2.14 – QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO, PRODUZIDO NA RMC, APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013. ....	94
FIGURA 2.15 – USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA EM DIVERSOS PAÍSES E UNIÃO EUROPEIA .....	99
FIGURA 3.1 – MAPA DO ESTADO DO PARANÁ – CARTA CLIMÁTICA – TEMPERATURA MÉDIA ANUAL: LOCALIZAÇÃO DA ETE FAZENDA RIO GRANDE/RMC – PR, ETE MENINO DEUS/RMC E ETE BARRA NOVA/APUCARANA - PR.....	101
FIGURA 3.2 – MAPA DO ESTADO DO PARANÁ – CARTA CLIMÁTICA – PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL.....	102
FIGURA 3.3 – MAPA DO ESTADO DO PARANÁ – CARTA CLIMÁTICA – EVAPOTRANSPIRAÇÃO ANUAL.....	102
FIGURA 3.4 – OBTENÇÃO DO LODO DE FOSSA SÉPTICA: A) DESCARREGAMENTO DO LODO NA ETE POR CAMINHÃO LIMPA-FOSSA; (B) ADENSADOR POR GRAVIDADE COM TELA; C) TORTA DO LODO CENTRIFUGADO .....	104
FIGURA 3.5 – FLUXOGRAMA DA ETE CACHOEIRA.....	105
FIGURA 3.6 – OBTENÇÃO DO LODO DE UASB DESAGUADO EM CENTRÍFUGA: A) INSTALAÇÃO LOCAL DE DESAGUE DO LODO; B) TORTA DE LODO DE UASB APÓS O DESAGUAMENTO .....	106

FIGURA 3.7 – FLUXOGRAMA DOS TRATAMENTOS REALIZADOS NO EXPERIMENTO DE ESTOCAGEM PROLONGADA DE LODO .....	108
FIGURA 3.8 – CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO PÁTIO DESCOBERTO EM FAZENDA RIO GRANDE A) IDENTIFICAÇÃO DO EXPERIMENTO; (B) ÁREA ONDE FOI CONSTRUÍDO O PÁTIO DE CIMENTO (C) UNIDADES EXPERIMENTAIS JÁ MONTADAS EM PÁTIO DESCOBERTO; (D) VISTA DO PÁTIO DESCOBERTO APÓS A MONTAGEM COM O PÁTIO COBERTO AO FUNDO.....	109
FIGURA 3.9 – CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO PÁTIO DESCOBERTO EM APUCARANA; A) IDENTIFICAÇÃO DO EXPERIMENTO; (B) ÁREA ONDE FOI CONSTRUÍDO O PÁTIO DE CIMENTO (C) UNIDADES EXPERIMENTAIS JÁ MONTADAS EM PÁTIO DESCOBERTO; (D) VISTA DO PÁTIO DESCOBERTO APÓS A MONTAGEM .....	110
FIGURA 3.10 – REVOLVIMENTO DAS LEIRAS REALIZADO MANUALMENTE COM ENXADA.....	111
FIGURA 3.11 – PÁTIO EXPERIMENTAL COBERTO: (A) EM FAZENDA RIO GRANDE; (B) APUCARANA .....	111
FIGURA 3.12 – AMOSTRAGEM DO LODO NA UNIDADE EXPERIMENTAL: (A) PONTOS DE COLETA; (B) (C) COLETORES DE PVC UTILIZADOS .....	112
FIGURA 3.13 – MONTAGEM, INSTALAÇÃO DO DATALOGGER E SENSORES DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR (A) INTERIOR DO EQUIPAMENTO; (B) PAINEL DE LEITURA; (C) ABRIGO DO DATALOGGER DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR; (D) SENSORES EM CADA UNIDADE EXPERIMENTAL .....	116
FIGURA 3.14 – LEITOS DE SECAGEM: (A) SUBDIVISÃO DO LEITO DE SECAGEM – LEITOS L1 E L2 (B) – ENCHIMENTO DO LEITO L1 ATRAVÉS DE TUBULAÇÃO DA ETE .....	119
FIGURA 3.15 – LEITOS DE SECAGEM: (A) SUBDIVISÃO DO LEITO DE SECAGEM – LEITOS 1, 2, 3, 4, 5 E 6 (2014) (B)– ENCHIMENTO DOS LEITOS ATRAVÉS DE MANGUEIRA PROVENIENTE DE CAMINHÃO PIPA (C) OVOS DE HELMINTOS CONCENTRADOS (D) INOCULAÇÃO DOS OVOS EM LEITO DE SECAGEM (E) AMOSTRADOR DE LODO (F) AMOSTRA – PERFIL VERTICAL .....	121
FIGURA 4.1 – VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA AMBIENTE (MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA), UMIDADE RELATIVA DO AR E PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO PRIMEIRO ANO DOS EXPERIMENTOS EM CAMPO. FAZENDA RIO GRANDE (A) E APUCARANA (B) .....	126
FIGURA 4.2 – VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA AMBIENTE (MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA), UMIDADE RELATIVA DO AR E PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO SEGUNDO ANO DOS EXPERIMENTOS EM CAMPO. FAZENDA RIO GRANDE (A) E APUCARANA (B) .....	126
FIGURA 4.3 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR LOCAL .....	129
FIGURA 4.4 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR COBERTURA.....	129
FIGURA 4.5 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO.....	130

FIGURA 4.6 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO EM PÁTIO DESCOBERTO.....	130
FIGURA 4.7 – VARIAÇÃO TEMPORAL DO PH EM LODO DE TANQUE SÉPTICO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR4) E APUCARANA (TR5 E TR6) .....	138
FIGURA 4.8 – VARIAÇÃO TEMPORAL DO PH EM $L_{UASB1}$ EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR4) E APUCARANA (TR5 E TR6) .....	138
FIGURA 4.9 – VARIAÇÃO TEMPORAL DO PH EM $L_{UASB2}$ EM FAZENDA RIO GRANDE (TR13, TR14, TR15, TR16) .....	138
FIGURA 4.10 – CONTAGEM DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LODO DE TANQUE SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR4) .....	140
FIGURA 4.11 – CONTAGEM DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LODO DE TANQUE SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR5, TR6) .....	141
FIGURA 4.12 – EVOLUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM $L_{UASB1}$ AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR7, TR8, TR9, TR10).....	141
FIGURA 4.13 – EVOLUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES $L_{UASB1}$ AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR11, TR12) .....	142
FIGURA 4.14 – EVOLUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES $L_{UASB2}$ , AO LONGO DO TEMPO, NOS TRATAMENTOS EM FAZENDA RIO GRANDE (TR13, TR14, TR15, TR16) .....	142
FIGURA 4.15 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA O FATOR LOCAL .....	143
FIGURA 4.16 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA O FATOR COBERTURA .....	143
FIGURA 4.17– PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO POR TIPO DE LODO .....	144
FIGURA 4.18 – EVOLUÇÃO DE <i>SALMONELLA</i> EM LODO DE TANQUE SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO NOS TRATAMENTOS TR1, TR2, TR3 E TR4 EM FAZENDA RIO GRANDE, TR5 E TR6 EM APUCARANA .....	152
FIGURA 4.19 – EVOLUÇÃO DE <i>SALMONELLA</i> EM LODO DE UASB –LEITO AO LONGO DO TEMPO NOS TRATAMENTOS TR7, TR8, TR9, TR10 EM FAZENDA RIO GRANDE, TR11 E TR12 EM APUCARANA.....	152
FIGURA 4.20 – EVOLUÇÃO DE <i>SALMONELLA</i> EM LODO DE UASB DESAGUADO EM CENTRÍFUGA AO LONGO DO TEMPO NOS TRATAMENTOS EM FAZENDA RIO GRANDE .	153
FIGURA 4.21 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE <i>SALMONELLA</i> NOS LODOS, PARA O FATOR LOCAL, COM INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95% .....	153

FIGURA 4.22 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE <i>SALMONELLA</i> NOS LODOS, PARA O FATOR COBERTURA, COM INTERVALO DE 95% .....	154
FIGURA 4.23 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE <i>SALMONELLA</i> E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO POR TIPO DE LODO .....	154
FIGURA 4.24 – TEMPO PARA OS INDICADORES BIOLÓGICOS ALCANÇAREM OS PADRÕES DEFINIDOS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 POR TRATAMENTO NOS MUNICÍPIOS; SÓLIDOS TOTAIS CORRESPONDENTES; Nº DE OVOS VIÁVEIS DE ASCARIS / G ST NOS TRATAMENTOS QUE NÃO ALCANÇARAM O PADRÃO ESTIPULADO NA RESOLUÇÃO .....	162
FIGURA 4.25 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM LODO SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR04) .....	169
FIGURA 4.26 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM LODO SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR5, TR6) NOTA: TR– TRATAMENTO	169
FIGURA 4.27 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM $L_{UASB1}$ AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR7, TR8, TR9, TR10).....	170
FIGURA 4.28 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM $L_{UASB1}$ AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR11, TR12) .....	170
FIGURA 4.29 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM $L_{UASB2}$ AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE .....	171
FIGURA 4.30 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE OVOS VIÁVEIS DE ASCARIS E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA FATOR LOCAL.....	171
FIGURA 4.31 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE OVOS VIÁVEIS DE ASCARIS E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA O FATOR COBERTURA .....	172
FIGURA 4.32 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE OVOS VIÁVEIS DE ASCARIS E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA FATOR REVOLVIMENTO .....	172
FIGURA 4.33 – CONTAGEM DE OVOS TOTAIS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM T = 4 SEMANAS E T = 104 SEMANAS NOS TRATAMENTOS REALIZADOS COM LODO SÉPTICO.....	183
FIGURA 4.34 – CONTAGEM DE OVOS TOTAIS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM T = 4 SEMANAS E T = 104 SEMANAS NOS TRATAMENTOS REALIZADOS COM LODO UASB DESAGUADO EM LEITOS DE SECAGEM .....	185
FIGURA 4.35 – CONTAGEM DE OVOS TOTAIS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM 4 E 104 SEMANAS NOS TRATAMENTOS REALIZADOS COM LODO UASB DESAGUADO CENTRÍFUGA .....	187
FIGURA 4.36 – PREVALÊNCIA POR ESPÉCIE DE HELMINTO NA CONTAGEM DE OVOS TOTAIS EM LODO DE TANQUE SÉPTICO.....	189

FIGURA 4.37 – PREVALÊNCIA POR ESPÉCIE DE HELMINTO NA CONTAGEM DE OVOS TOTAIS EM LUASB2 .....	189
FIGURA 4.38 – LEITO DE SECAGEM: VALORES MÉDIOS DE SÓLIDOS TOTAIS, ALTURA DO LODO, PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA, UMIDADE RELATIVA DO AR .....	193
FIGURA 4.39 – LEITO DE SECAGEM: VALORES MÉDIOS DE PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA, UMIDADE RELATIVA DO AR .....	194
FIGURA 4.40 – ASPECTO DO LODO EM LEITOS DE SECAGEM NOS DIAS 1, 4, 8, 15 E 30 DIAS .	194
FIGURA 4.41 – TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS (ST) E ALTURA DOS LODOS EM 6 LEITOS DE SECAGEM DURANTE 30 DIAS, NA ETE MENINO DEUS – QUATRO BARRAS– PR. ....	196
FIGURA 4.42 – CONTAGEM DE OVOS DE <i>ASCARIS</i> E COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LEITOS DE SECAGEM.....	196

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA DO LODO DE ESGOTO BRUTO E DIGERIDO .....	32
TABELA 2.2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LODO DE TANQUES SÉPTICOS.....	40
TABELA 2.3 – TEOR DE SÓLIDOS NO LODO DO TRATAMENTO DE ESGOTO DE ACORDO COM O TIPO DE ESTABILIZAÇÃO E EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA O DESÁGUE.....	41
TABELA 2.4 – PRINCIPAIS ORGANISMOS ENCONTRADOS NO LODO CORRELACIONADOS COM AS DOENÇAS CAUSADAS. ....	49
TABELA 2.5 – CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LODOS DE ESGOTO .....	53
TABELA 2.6 – CONCENTRAÇÃO DE <i>SALMONELLA</i> SPP. EM LODOS DE ESGOTO .....	56
TABELA 2.7 – CONCENTRAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS EM LODO DE ESGOTO.....	61
TABELA 2.8 – PREVALÊNCIA DE ENTEROPARASIToses POR REGIÕES NO BRASIL .....	65
TABELA 2.9 – CLASSES DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO PELA PRESENÇA DE AGENTES PATOGÊNICOS.....	69
TABELA 2.10 – PROCESSOS DE REDUÇÃO ADICIONAL DE PATÓGENOS (PRAP) SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 375/2006.....	69
TABELA 2.11 – MÉTODOS DE ESTOCAGEM DE LODO DE LONGO TERMO .....	83
TABELA 2.12 – TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DOS GRUPOS DE PATÓGENOS NO SOLO E NA PLANTA.....	91
TABELA 2.13 – ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE LODO NO ANO DE 2008 EM DIVERSOS PAÍSES, E PRODUÇÃO E USO LODO DE ESGOTO POR PAÍS E UNIÃO EUROPÉIA.....	97
TABELA 2.14 – PRODUÇÃO DE LODO E QUANTIDADE USADA NA AGRICULTURA NA UNIÃO EUROPÉIA .....	98
TABELA 3.1 – ORIGEM DO LODO UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS .....	103
TABELA 3.2 – FATORES ANALISADOS NOS TRATAMENTOS DE ESTOCAGEM PROLONGADA POR TIPO DE LODO .....	106
TABELA 3.3 – HIGIENIZAÇÃO NATURAL DE LODO POR ARMAZENAMENTO PROLONGADO: TRATAMENTOS APLICADOS NOS LODOS.....	107
TABELA 3.4 – LEGENDA UTILIZADA PARA A VARIÁVEL TEMPO E FREQUÊNCIA DAS ANÁLISES REALIZADAS NO EXPERIMENTO DE ESTOCAGEM PROLONGADA DE LODO, POR PARÂMETRO.....	113
TABELA 3.5 – ANÁLISES LABORATORIAIS REALIZADAS NO PERÍODO DO PROJETO – ESTOCAGEM PROLONGADA.....	114
TABELA 3.6 – HIGIENIZAÇÃO DE LODO EM LEITOS DE SECAGEM: SÍNTESE DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	122
TABELA 4.1 – VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA AMBIENTE, PRECIPITAÇÃO, UMIDADE RELATIVA DO AR AO LONGO DO TEMPO .....	124
TABELA 4.2 – VALORES MÉDIOS DE SÓLIDOS TOTAIS, POR TRATAMENTO, AO LONGO DO EXPERIMENTO.....	128



TABELA 4.3 – MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA SECAGEM DO LODO (ST%) .....	135
TABELA 4.4 – RELAÇÃO ENTRE SVT/ST, POR TRATAMENTO, AO LONGO DO EXPERIMENTO	136
TABELA 4.5 – MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA REDUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES .....	151
TABELA 4.6 – MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA REDUÇÃO DE <i>SALMONELLA</i> .....	160
TABELA 4.8 – SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA HIGIENIZAÇÃO DE LODO APÓS DOIS ANOS DE ESTOCAGEM PROLONGADA, EM ATENDIMENTO AOS VALORES ESTABELECIDOS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 PARA LODO CLASSE A .....	161
TABELA 4.9 – TEMPO PARA OS INDICADORES BIOLÓGICOS ALCANÇAREM OS PADRÕES DEFINIDOS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 POR TIPO DE LODO NOS MUNICÍPIOS. ....	163
TABELA 4.7 – SÍNTESE DAS MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA REDUÇÃO DO NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS .....	180
TABELA 4.10 – NÚMERO DE OVOS TOTAIS E VIÁVEIS POR TIPO DE HELMINTOS NO LODO SÉPTICO SUBMETIDO AOS TRATAMENTOS EM 4 SEMANAS E 104 SEMANAS.....	182
TABELA 4.11 – NÚMERO DE OVOS TOTAIS E VIÁVEIS POR TIPO DE HELMINTOS NO LODO $L_{UASB1}$ , SUBMETIDO AOS TRATAMENTOS EM 4 E EM 13 OU 104 SEMANAS .....	184
TABELA 4.12 – NÚMERO DE OVOS TOTAIS E VIÁVEIS POR TIPO DE HELMINTOS NO $L_{UASB2}$ SUBMETIDO AOS TRATAMENTOS EM 4 E EM 104 SEMANAS .....	186

## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
°C	Grau Celsius
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CaO	Cal virgem
cm	Centímetro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Coliformes totais
CTer	Coliformes Termotolerantes
DAEC	<i>E. coli</i> que adere difusamente a células epiteliais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEC	<i>E. coli</i> diarreiogênicos
dm	Decímetro
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EAP	Estabilização Alcalina Prolongada
EF	Estreptococos fecais
EHEC	<i>E. coli</i> enterohemorrágica
EIEC	<i>E. coli</i> enteroinvasora
EOAEC	<i>E. coli</i> enteroagregativa
EPA	Environmental Protection Agency
EPEC	<i>E. coli</i> enteropatogênica
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETEC	<i>E. coli</i> enterotoxigênica
EUA	Estados Unidos da América
FAE	FAE Centro Universitário,
Fig	Figura
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FRG	Fazenda Rio Grande
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
g	grama
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOC	Instituto Oswaldo Cruz
IWA	<i>International Water Association</i>
kg	quilograma
L	Litro
log	logaritmo
m	metro
m <sup>2</sup>	metro quadrado

m <sup>3</sup>	metro cúbico
MCIDADES	Ministério das Cidades
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
mg	miligrama
mg/L	miligrama por litro
N	Número de parâmetros
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização PanAmericana da Saúde
PFRP	<i>Process to Further Reduce Pathogens</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PRAP	Processos de Redução Adicional de Patógenos
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
Ralf	Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos em Suspensão Totais
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Voláteis Totais
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i>
UE	União Europeia
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFF	Unidade Formadora de Foco
UFP	Unidade Formadora de Placa
UGL	Unidades de Gerenciamento de Lodo
UNHABITAT	<i>United Nations Human Settlements Programme</i>
USEPA	<i>US Environmental Protection Agency</i>
VBNC	<i>Viable But Not Culture</i>
WEF	<i>Water Environment Federation</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
1.1	OBJETIVOS	26
1.1.1	Objetivo Geral	26
1.1.2	Objetivos Específicos	26
1.2	JUSTIFICATIVA	26
1.3	HIPÓTESES	27
1.4	RELEVÂNCIA	27
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>28</b>
2.1	PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM GERAÇÃO DE LODO	29
2.1.1	Geração de lodos de esgoto	29
2.1.2	Processos de estabilização do lodo de esgoto	33
2.1.3	Reator Anaeróbio Tipo UASB	35
2.1.4	Tanques sépticos	36
2.2	DESIDRATAÇÃO DO LODO DE ESGOTO	41
2.2.1	Leitos de secagem	42
2.3	PRINCIPAIS PATÓGENOS ENCONTRADOS NO LODO DE ESGOTO E ORGANISMOS INDICADORES	48
2.3.1	Coliformes Termotolerantes	51
2.3.2	Salmonella spp.	54
2.3.3	Helminhos	57
2.3.4	Contagem e caracterização de ovos de helmintos	61
2.3.5	Investimentos no setor de saneamento	63
2.3.6	Incidência de enteroparasitoses na população	64
2.4	HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO	68
2.4.1	Principais fatores que interferem na inativação de patógenos	70
2.4.2	Processos de higienização do lodo	76
2.4.3	Higienização do lodo por armazenagem em longos períodos	82
2.5	USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO	90
2.5.1	Lodo de esgoto no solo	90
2.5.2	Panorama brasileiro e do Estado do Paraná do uso agrícola do lodo de esgoto	92

2.5.3 *Panorama do uso agrícola do lodo de esgoto em alguns países*. 95

<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>100</b>
3.1	EXPERIMENTO DE ESTOCAGEM PROLONGADA.....	100
3.1.1	Caracterização da área de estudo.....	100
3.1.2	Tipos de lodo.....	103
3.1.3	Delineamento Experimental.....	106
3.1.4	Plano de amostragem .....	112
3.1.5	Monitoramento climatológico .....	115
3.1.6	Análise estatística .....	116
3.2	INFLUÊNCIA DOS LEITOS DE SECAGEM NA REDUÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS E COLIFORMES EM LODO DE ESGOTO PROVENIENTE DE REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO (UASB).....	118
3.2.1	Caracterização da Área de Estudo .....	118
3.2.2	Delineamento Experimental.....	118
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>123</b>
4.1	AVALIAÇÃO DOS FATORES CLIMÁTICOS E OPERACIONAIS NA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PATÓGENOS EM LODO SÉPTICO E EM LODO ANAERÓBIO, POR ESTOCAGEM PROLONGADA .....	123
4.1.1	Condições ambientais .....	124
4.1.2	Sólidos totais .....	127
4.1.3	Relação entre sólidos voláteis e sólidos totais.....	136
4.1.4	Potencial Hidrogeniônico – pH .....	137
4.1.5	Coliformes termotolerantes.....	140
4.1.6	Salmonella spp.....	151
4.1.7	Síntese dos resultados .....	160
4.1.8	Ovos de helmintos.....	168
4.2	CARACTERIZAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS NO LODO DE ESGOTO AO LONGO DO TEMPO POR ESTOCAGEM PROLONGADA.....	181
4.3	HIGIENIZAÇÃO DE LODO ANAERÓBIO DESAGUADO EM LEITOS DE SECAGEM .....	192
4.3.1	Avaliação da higienização de lodo de UASB, desaguado em leitos de secagem, não inoculado .....	192
4.3.2	Avaliação da higienização de lodo de UASB, desaguado em leitos de secagem, inoculado com número conhecido de ovos de Ascaris summ ...	193

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>199</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>203</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>204</b>
	<b>APÊNDICE – CARTAS CLIMATOLÓGICAS.....</b>	<b>235</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Lodos de esgoto são subprodutos sólidos, orgânicos e inorgânicos, provenientes de estações de tratamento de esgotos (ETEs). A geração de grandes volumes de lodo, seu processamento e disposição final podem ser os problemas mais complexos de operação de uma ETE (ANDREOLI *et al.*, 2006). O aumento da cobertura dos serviços de tratamento implica no aumento da produção de lodo. Contudo, medidas preventivas podem minimizar a sua produção e melhorar sua qualidade, num processo que começa antes ainda do afluente chegar às ETEs.

No Estado do Paraná, no ano de 2012, o esgoto doméstico coletado foi tratado em 227 ETEs, por tratamento biológico em reatores anaeróbios, tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). Em geral estes reatores possuem um pós-tratamento biológico aeróbio ou físico-químico. Como exceção cita-se a ETE Belém, localizada no município de Curitiba, que opera por tratamento biológico aeróbio, em sistema de lodos ativados de aeração prolongada.

Nas regiões das cidades onde não rede coletora de esgoto, o uso de tanques sépticos e sumidouros é uma forma adequada para a gestão dos efluentes domésticos como tratamento individualizado, principalmente em regiões com baixo adensamento populacional, onde o custo para levar rede de esgoto torna-se muito elevado. Contudo essa opção tecnológica requer a retirada sistemática do lodo e alternativas para o destino do lodo retirado desses sistemas, o que raramente é observado na prática.

Grande parte desses sistemas de tratamento ocorre em regiões desprovidas de redes coletoras de esgotos, onde é necessário um modelo operacional de tratamento para atender aos padrões de lançamento e disposição desses efluentes no meio ambiente (STEFANUTTI *et al.*, 2015).

Via de regra, a falta de infraestrutura recai, principalmente, sobre a população menos favorecida, que acaba adotando as alternativas possíveis para o destino dos esgotos produzidos (ANDREOLI e POMPEO, 2009). Estima-se que 22,3 milhões de moradias no Brasil tenham seus esgotos tratados por fossas ou tanques sépticos, incluindo o uso de fossas rudimentares (IBGE, 2009).

O lodo retirado de fossas e tanques sépticos possui características extremamente variadas. A parcela de matéria orgânica não estabilizada presente no lodo séptico confere a esse tipo de resíduo um potencial de poluição elevado,

contribuindo também para a geração de odores desagradáveis e para a atratividade de vetores. São encontradas concentrações elevadas de bactérias e helmintos causadores de doenças no lodo séptico (ANDREOLI, CARVALHO e MAYER, 2015).

Parte do lodo gerado nessas unidades, de origem doméstica, é destinada às ETEs, sendo tratada juntamente com o esgoto doméstico. Os lodos que não podem ser tratados nas ETEs tem como destino final comum aterros sanitários.

A destinação final adequada do lodo é um grande desafio para a saúde pública e para o meio ambiente. A tomada de decisão para a superação de desafios se reflete em diversas circunstâncias: geográficas, políticas, econômicas, técnicas, culturais e jurídicas. Contudo, o tratamento, minimização e aproveitamento dos lodos de esgotos deve fazer parte da estratégia de gestão e concepção de uma estação de tratamento de esgotos. O desenvolvimento de pesquisas com esse tipo de produto é de suma importância para soluções no âmbito do país.

Quando o lodo de esgoto está apto para ser reciclado benéficamente, após passar por processos de tratamento que lhe conferem características específicas ao uso pretendido, o termo bio sólido é utilizado. Dentre os possíveis destinos do lodo de esgoto, a reciclagem agrícola de lodo é uma prática sustentável, aplicada em vários países do mundo.

O Brasil tem grande potencial de ampliar essa prática e usufruir dos benefícios agrícolas, ambientais e de saúde pública, uma vez que o lodo deixa de ser um passivo ambiental para ser um insumo. No entanto, no Brasil, o uso requer a verificação dos parâmetros de qualidade, definidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 375/2006 (BRASIL, 2006) e no Estado do Paraná através da Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) 021/09 (PARANÁ, 2009), sendo necessária a adoção de métodos de higienização.

Assim, a Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR implementou um programa de reciclagem agrícola do lodo, em 2002. A este respeito, foi aplicado o Processo de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), que eleva o pH do lodo para 12, a fim de reduzir os agentes patogênicos a valores estipulados pela Resolução. Além disso, a EAP confere ao lodo a capacidade de corrigir a acidez do solo, o que pode reduzir ou substituir a utilização de cal (BITTENCOURT *et al.*, 2011).



A Resolução CONAMA 375/06 não se aplica a lodos provenientes de sistema de tratamento individual, coletados por caminhões limpa fossa, antes de passarem por uma estação de tratamento de esgoto, neste trabalho denominado de lodo de tanques sépticos. A destinação final desse tipo de lodo é um grande desafio para os gestores.

A higienização do lodo por estocagem prolongada é um processo que prevê a redução de patógenos no lodo por meio de seu armazenamento por longos períodos, para que possa ser utilizado e disposto de forma segura no ambiente (METCALF & EDDY, 1991). O Anexo 1 da Resolução CONAMA 375/2006 apresenta os Processos para redução de agentes patogênicos e atratividade de vetores, porém a estocagem prolongada não está prevista.

Em suas diretrizes para o destino seguro de resíduos do tratamento de esgoto, a Organização Mundial da Saúde recomenda sua utilização agrícola como meio de minimizar as pressões causadas pelo aumento populacional, pela escassez e degradação de recursos hídricos, em virtude do destino inadequado de resíduos e pela crescente demanda por alimentos e fibras (SILVA, 2007).

Os estudos realizados no âmbito do PROSAB 5, tema 6 (ANDREOLI *et al.*, 2009), resultaram em um levantamento profundo da situação do lodo de tanques sépticos em suas características, seu tratamento e sua gestão. Porém, também trouxeram à luz outras questões a respeito do lodo séptico que necessitam de investigações mais detalhadas ou complementares.

Neste intuito, dando continuidade a esses trabalhos, o edital CHAMADA PÚBLICA MCT/MCIDADES/FINEP/Ação Transversal – SANEAMENTO AMBIENTAL E HABITAÇÃO – 7/2009 fomentou e apoiou financeiramente esta tese, que faz parte de uma rede de pesquisa que se estende a várias regiões do país, envolvendo diversas instituições, atendendo as demandas da sociedade e do meio acadêmico.

Todo programa de tratamento de esgotos domésticos deve contemplar o correto tratamento e adequada destinação final dos lodos de esgoto, de forma que os objetivos do saneamento sejam plenamente atingidos. A importância dessa prática foi reconhecida pela Agenda 21, principal instrumento aprovado na Conferência Mundial de Meio Ambiente – Rio 92, que incluiu no seu capítulo 21 o tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os mecanismos de redução de patógenos do lodo séptico e lodo anaeróbio de esgoto, por processo de estocagem prolongada, visando sua utilização na agricultura.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito dos fatores climáticos e operacionais na redução da concentração de coliformes termotolerantes em lodo séptico e em lodo anaeróbio, por estocagem prolongada;
- Avaliar o efeito dos fatores climáticos e operacionais na redução da concentração de *Salmonella* spp. em lodo séptico e em lodo anaeróbio, por estocagem prolongada;
- Avaliar o efeito dos fatores climáticos e operacionais na redução da concentração de ovos de helmintos em lodo séptico e em lodo anaeróbio, por estocagem prolongada;
- Caracterizar os ovos de helmintos de lodo séptico e anaeróbio;
- Avaliar a higienização de lodo anaeróbio desaguado em leitos de secagem.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Em pequenas ETEs no Paraná foi observado pela Companhia de Saneamento do Paraná, Sanepar, que após um longo período de estocagem de lodo, as concentrações de ovos viáveis de helmintos eram muitas vezes inferiores aos preconizados pela Resolução CONAMA 375/2006. Tal fato despertou o interesse em busca de soluções mais viáveis na higienização de lodo que pudessem ser uma alternativa à Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), método adotado pela Sanepar (SANEPAR, 1997) para higienização do lodo, principalmente para reciclagem agrícola onde o solo não é propício para receber o lodo com cal. Além disso a higienização com cal é o segundo maior valor de custo da gestão de lodo, atrás somente do transporte.

A desinfecção natural do lodo é um processo que prevê a redução de patógenos no lodo através da estocagem prolongada. Entre as principais vantagens associadas destacam-se o baixo custo de investimento, a simplicidade operacional, o baixo consumo de energia e de produtos químicos. Para utilização na agricultura, os componentes do lodo substituem parte dos nutrientes e da matéria orgânica,

necessários para os cultivos. Desta forma, podem ser insumos agrícolas que trazem benefícios econômicos, melhorias para o solo e para a produtividade de culturas.

### 1.3 HIPÓTESES

- O prazo (dois anos) de estocagem prolongada de lodo anaeróbio e tanques sépticos reduz o número de patógenos, viabilizando seu uso na agricultura, dentro dos parâmetros da Resolução CONAMA 357/2006 para lodo classe A.
- A umidade do lodo está relacionada à redução de organismos patogênicos.
- O processo de revolvimento do lodo em estocagem prolongada atua favoravelmente no tempo de higienização de patógenos, em lodo anaeróbio e lodo de tanque séptico.
- A cobertura de lodo em estocagem prolongada atua favoravelmente no tempo de higienização de patógenos, em lodo anaeróbio e lodo de tanque séptico.
- O leito de secagem, utilizado no desaguamento do lodo de esgoto, é eficaz na redução de organismos patogênicos.

### 1.4 RELEVÂNCIA

Várias técnicas têm sido estudadas com o intuito de aperfeiçoar a etapa de higienização, buscando adaptar condições locais da área de estudo como também obter a viabilidade econômica. Dentre elas podem ser citadas a higienização térmica e EAP (estabilização alcalina prolongada). No entanto, ainda faz-se necessário buscar alternativas técnicas com caráter sustentável, de simples operação e manutenção, que agreguem vários conceitos e oportunidades simplificadas, principalmente para pequenas estações de tratamento de esgotos e onde há restrições de aplicação do lodo calado em função do pH do solo, sendo de grande interesse para a realidade de diversos países e localidades.

De acordo com a bibliografia consultada, não foram encontrados trabalhos realizados no Brasil sob as condições pesquisadas em períodos superiores a um ano. Pela escassez de pesquisas sobre estocagem prolongada de lodo como método de higienização, faz-se necessário ampliar o conhecimento desse processo para expandir programas de reciclagem agrícola que garantam segurança sanitária que tenham maior campo de utilização.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo lodo tem sido utilizado para referenciar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. É o resultado das operações e processos de tratamento de águas residuárias, usualmente na forma de um líquido ou líquido semissólido, com valores típicos de 0,25 a 12% de peso de sólido, correspondentes às operações e processos utilizados (METCALF & EDDY, 1991; JORDÃO e PESSOA, 2005).

O termo biossólido, consagrado na literatura, é recomendado pela *Water Environment Federation* (WEF) quando o lodo é tratado ou beneficiado em estações de tratamento biológico de esgotos municipais (FERNANDES, 1999), para um produto estabilizado (ARCAK *et al.*, 2000), desde que seu destino final tenha um uso benéfico (SPINOSA, 2007) e quando o lodo apresenta características que permitam o seu uso agrícola (ANDREOLI *et al.*, 2006). A *US Environmental Protection Agency* – USEPA (1994, 2003) define biossólido como sendo um produto sólido essencialmente orgânico, produzido por processos de tratamento de esgotos, que pode ser reciclado benéficamente. O termo foi criado no final da década de 80, nos Estados Unidos, a fim de atrair a atenção dos agricultores para a sua utilização (LUDUVICE, 1998). Quando o produto não está estabilizado, os termos empregados são torta, lodo ou sólidos (FERNANDES *et al.*, 1999), contudo, os termos lodo de esgoto e biossólidos são utilizados frequentemente de forma similar.

O uso agrícola de lodo de esgoto é normatizado no nível federal pela Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006) e pelo Decreto nº 4954 de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004). No nível estadual, pelas Resoluções Sema 001/07 (PARANÁ, 2007) e Sema 21/09 (PARANÁ, 2009) que dispõe sobre licenciamento ambiental e estabelece condições e padrões ambientais. Na resolução CONAMA 375/2006, o termo biossólido não é citado, sendo utilizado o termo lodo de esgoto tanto para o resíduo antes como depois de estabilizado. Neste trabalho, será utilizada a terminologia lodo de esgoto quando o lodo não tiver passado pelo processo de higienização, e biossólido quando referenciado por outros autores.

No que diz respeito ao resíduo proveniente de fossas e tanque sépticos, este possui características extremamente variadas (ANDREOLI, CARVALHO, MEYER, 2015; INGUNZA *et al.*, 2009), decorrentes também dos procedimentos realizados durante o esgotamento dos sistemas, pelas empresas imunizadoras (limpa-fossa), visto que têm como prática o esgotamento não só dos tanques, mas também dos

sumidouros (ANDREOLI, CARVALHO e MEYER, 2015). Embora a fase líquida e a fase sólida sejam separadas no interior dos tanques sépticos, ao ser realizado o esgotamento, elas se misturam novamente e essa mistura do material líquido com o sedimentado recebe diferentes denominações: lodo de esgoto, lodo fecal, lodo séptico, resíduo esgotado do interior das fossas e tanques sépticos (RATIS, 2009). Frequentemente ocorre o esgotamento de todo o seu conteúdo e, muitas vezes, ocorre a retirada antes mesmo que se principie o processo de digestão anaeróbia. Os resíduos são diluídos e pratica-se comumente o lançamento de significativas quantidades de água para “lavar o sistema” no final do esgotamento. Neste trabalho, esse material está referenciado como lodo séptico e/ou lodo de tanque séptico.

## 2.1 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM GERAÇÃO DE LODO

### 2.1.1 Geração de lodos de esgoto

Os diferentes processos de tratamento e seus respectivos estágios geram lodos com características e quantidades variáveis, que dependem da vazão e da carga orgânica do esgoto a ser tratado (AISSE, FERNANDES e SILVA, 1999), das suas características, do tipo de tratamento e da operação do sistema. (SANEPAR, 1997; AISSE, FERNANDES e SILVA, 1999; PAULA JUNIOR *et al.*, 2003; FYTILI e ZABANIOUTOU, 2008).

O lodo gerado em sistemas de tratamento de esgotos é composto por diferentes substâncias e organismos. É um material rico em matéria orgânica (40-60%), em macronutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, e micronutrientes, como zinco, manganês e cobre (CHENG *et al.*, 2007).

Os afluentes industriais misturados com o afluente doméstico podem conferir ao efluente tratado características como metais pesados e outros componentes distintos daqueles decorrentes do esgoto estritamente doméstico (METCALF e EDDY, 1991). Dessa forma, a gestão do lodo deve envolver aspectos econômicos e ambientais, incluindo a presença de metais pesados no lodo (JIMENEZ *et al.*, 2007; ARTHURSON, 2008).

A remoção de patógenos pode ser realizada por meio de processos químicos, físicos ou biológicos visando assegurar a qualidade sanitária do lodo a ser utilizado (PASSAMANI e GONÇALVES, 1999). O manuseio e a utilização de lodo de esgoto, para os mais variados fins, sem prévio tratamento de estabilização e desinfecção podem acarretar infecção ao homem e aos animais.

O lodo primário é gerado em decantadores primários, sendo constituído por sólidos sedimentáveis do esgoto bruto (VON SPERLING e GONÇALVES, 2001). De forma geral, a produção nos decantadores primários é de 2500 a 3500 litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, que é removido por gravidade e contém de 3 a 7% de sólidos, contendo 60% a 80% de matéria orgânica (SANEPAR, 1997).

O lodo químico (Figura 2.1 b) é produzido por uma ETE, quando incorporada a etapa físico-química de remoção de nutrientes durante o tratamento terciário ou no denominado tratamento primário avançado (VON SPERLING e GONÇALVES, 2001; VAN HAANDEL, CORNELIUS e MARAIS, 1999).

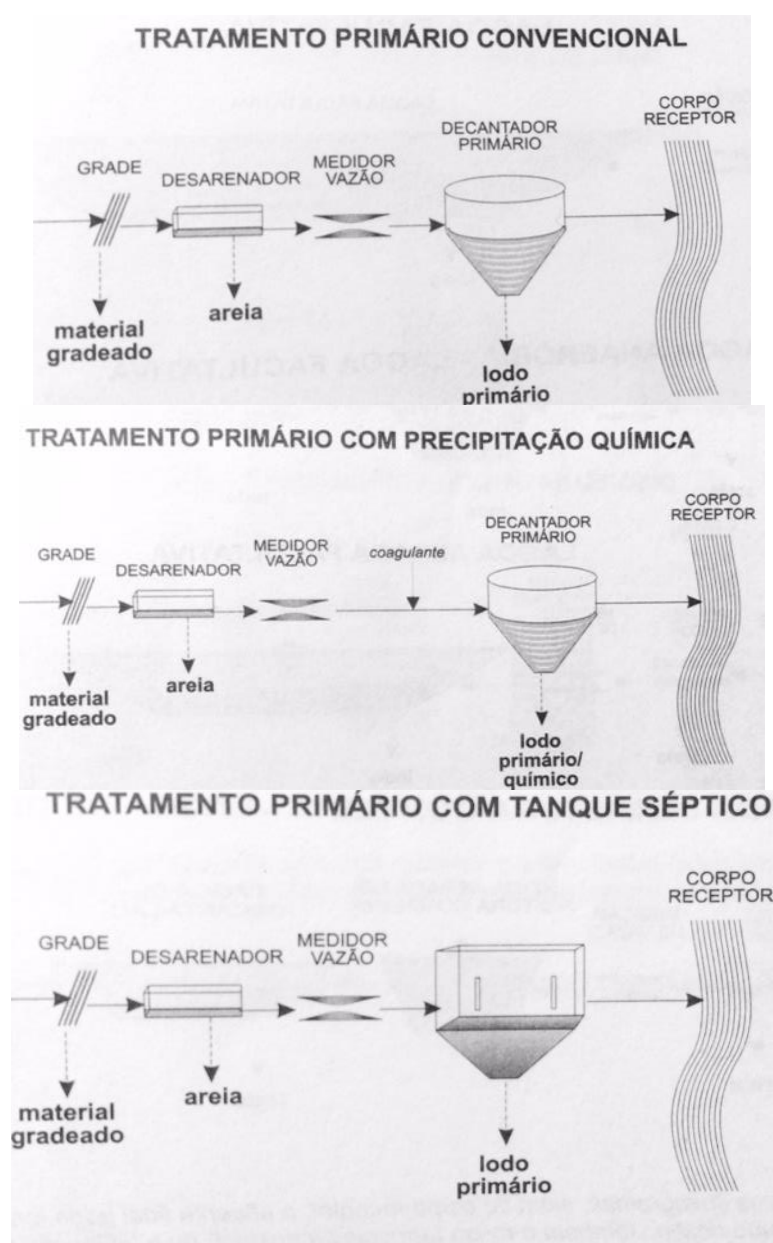


Figura 2.1 – Tratamento primário e pontos de geração de rejeitos

Fonte: von Sperling e Gonçalves (2001)

Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e mineralizada, formando a biomassa microbiana, denominada de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos (ANDREOLI *et al.*, 2006). O metabolismo bacteriano é determinante na produção de lodos. Nos sistemas aeróbios, a produção de lodo é maior, comparada aos sistemas anaeróbios. O tratamento por lodos ativados (Figura 2.2) e filtro biológico de alta carga são os sistemas que produzem a maior quantidade de lodo, enquanto os sistemas anaeróbios produzem volumes menores (BITTON, 1994; AISSE, FERNANDES E SILVA, 1999), pois a maior parte do substrato orgânico é incorporada à massa celular das bactérias, enquanto no anaeróbio o metabolismo metanogênico transforma quase toda a matéria orgânica em produtos estáveis, produzindo menos lodo. Os tratamentos secundários promovem o incremento da atividade microbiana aeróbia e/ou anaeróbia, convertendo os sólidos dissolvidos em sólidos suspensos (biomassa microbiana) e reduzindo o conteúdo da matéria orgânica pela sua respiração. Posteriormente, a biomassa microbiana é precipitada junto com outras partículas, produzindo o lodo secundário (SANEPAR, 1997).



FIGURA 2.2 – TRATAMENTO SECUNDÁRIO POR REATOR ANAERÓBIO

Fonte: von Sperling e Gonçalves (2001)

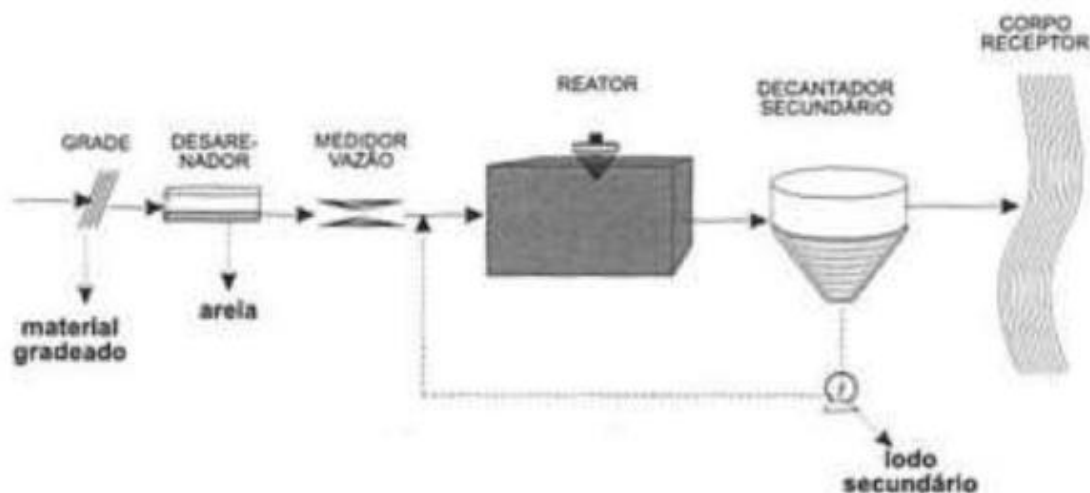


FIGURA 2.3 – TRATAMENTO SECUNDÁRIO POR LODOS ATIVADOS E PONTOS DE GERAÇÃO DE SUBPRODUTOS SÓLIDOS

Fonte: von Sperling e Gonçalves (2001)

O lodo misto é formado pelo tratamento conjunto de lodos excedentes, provenientes de tratamentos primário e secundário. Suas características são uma composição dos lodos que lhe deram origem (VON SPERLING e GONÇALVES, 2001).

Na Tabela 2.1 encontram-se alguns parâmetros típicos, encontrados nos lodos de esgoto bruto e digerido.

TABELA 2.1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA DO LODO DE ESGOTO BRUTO E DIGERIDO

CONSTITUINTE	LODOS PRIMÁRIOS NÃO TRATADOS		LODOS PRIMÁRIOS DIGERIDOS		LODOS ATIVADOS
	FAIXA	TÍPICO	FAIXA	TÍPICO	FAIXA
Sólidos Totais (%ST)	2 – 8	5	6 – 12	10	0,8 – 1,2
Sólidos Voláteis (%ST)	60 – 80	65	30 – 60	40	59 – 88
Gorduras e Graxas (%ST)	Éteres solúveis	6 – 30	-	5 – 20	18
	Éteres extraíveis	7 – 35	-	-	5 – 12
Proteínas (%ST)	20 – 30	25	15 – 20	18,0	32– 41
Nitrogênio (N) (%ST)	1,5 – 4,0	2,5	1,6 – 6,0	3,0	2,4 – 5,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%ST)	0,8 – 2,8	1,6	1,5 – 4,0	2,5	2,8 – 11,0
Potássio (K <sub>2</sub> O) (%ST)	0 – 1	0,4	0 – 3	1,0	0,5 – 0,7
Celulose (% ST)	8 – 15	10	8 – 15	10	

Fonte: Metcalf e Eddy (1991)



### 2.1.2 Processos de estabilização do lodo de esgoto

As principais etapas de gerenciamento do lodo são: adensamento, estabilização, desaguamento, condicionamento, higienização e disposição final.

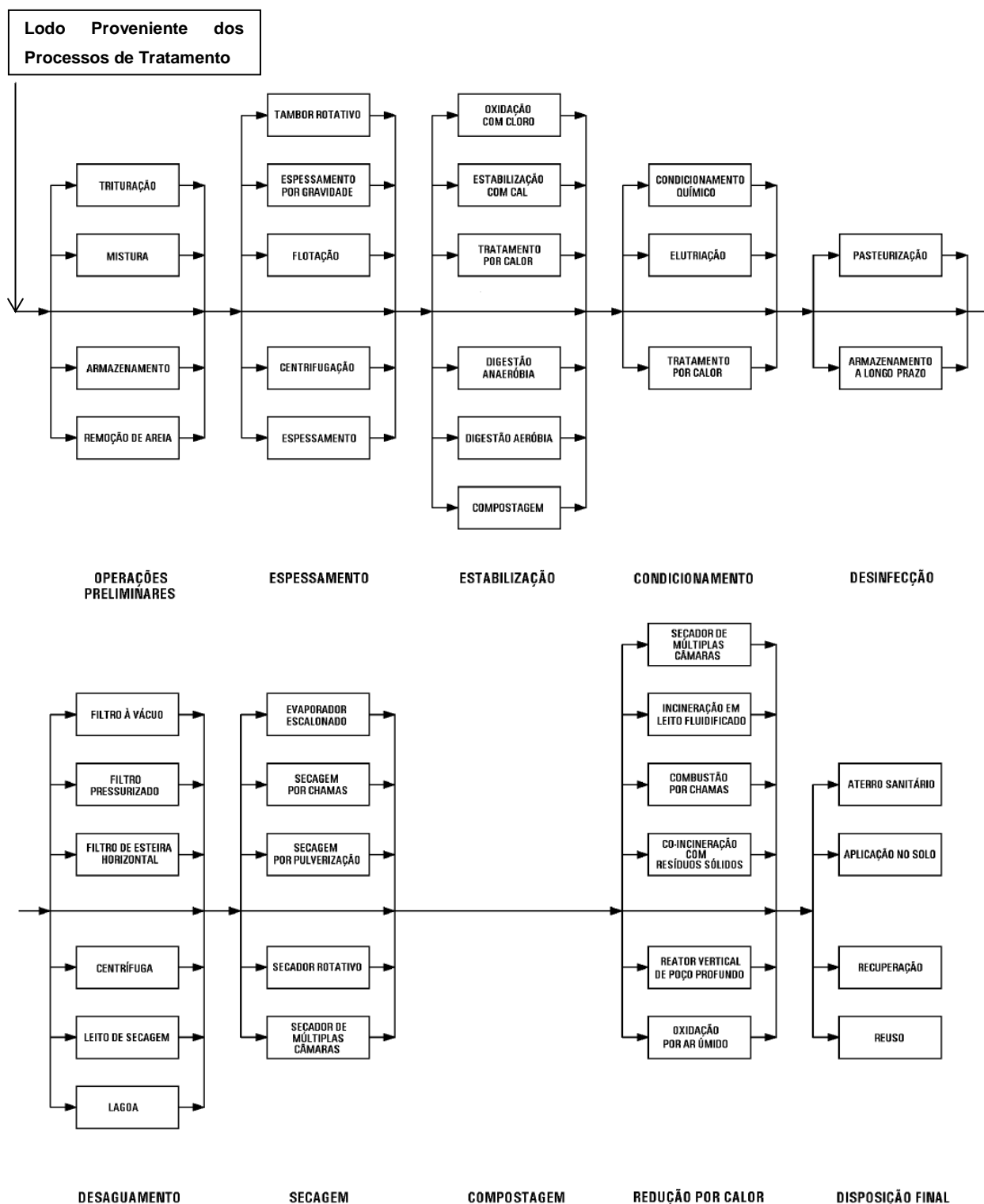


FIGURA 2.4 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE GERENCIAMENTO DE LODO  
Fonte: Metcalf & Eddy, 1991

A incorporação dessas etapas no tratamento do lodo está relacionada ao tipo de tratamento de esgoto empregado, às características do lodo gerado, e ao destino final pretendido para o mesmo.

Dependendo da tecnologia escolhida, o tratamento e disposição final do lodo dentro do custo operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto podem corresponder de 20 – 60% (WEBBER e SHAMESS, 1984; ANDREOLI *et al.*, 2001; SPINOSA *et al.*, 2011), 30 – 60% (SIDDIQUEE e ROHANI, 2011), 50% na Áustria, segundo Kroiss e Zessner (2007) e Leblanc *et. al* (2008), e em cidades do Canadá. Para Sampaio e Gonçalves (1999), apenas os custos operacionais associados à destinação final do lodo correspondem a mais de 40% do total.

Os processos de estabilização do lodo visam atenuar odor e concentração de patógenos, controlando a biodegradação de compostos orgânicos. Numa etapa anterior, a disposição ou utilização do lodo (BOROWSKI e SZOPA, 2007), impedem que, se aplicado no solo, o lodo passe a competir pelos recursos naturais do meio, que são necessários aos processos de degradação de seus compostos orgânicos (HARTENSTEIN, 1981; FERNANDES *et al.*, 2005). Na reciclagem agrícola como destino final do lodo, o grau de estabilização é de fundamental importância (EPA, 2004). É também uma etapa essencial do sistema de gestão do lodo produzido nas ETEs (FERNANDES e SOUZA, 2001), devendo ser definida de forma articulada com o desaguamento, higienização e uso final do produto (PINTO, 2001). Quando mal executada, a gestão do lodo pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados (LUDUVICE, 2001).

De acordo com a definição adotada pela Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006), estabilização é: “um processo que leva os lodos de esgoto destinados para o uso agrícola a não apresentarem potencial de geração de odores e de atratividade de vetores, mesmo quando *reumidificados*”.

A estabilização dos lodos ocorre por processos biológicos, químicos e térmicos. O empregado mais frequentemente é o processo biológico, através da digestão aeróbia e/ou digestão anaeróbia, em condições ambientais favoráveis (JEPSEN *et al.*, 1997; BOROWSKI e SZOPA, 2007).

Na estabilização biológica, são utilizados os mecanismos naturais de biodegradação, onde a parte mais biodegradável do lodo passa por um processo de transformação por vias que podem ser anaeróbia ou aeróbia, em função da presença de oxigênio livre no processo de tratamento bioquímico do lodo.

De acordo com Jepsen *et al.* (1997), na estabilização aeróbia e anaeróbia, a redução dos organismos indicadores é de aproximadamente 1 log. Feachem *et al.* (1983), Gantzer *et al.* (2001), Fernandes e Souza (2001) reportam a redução de 2 log de *E.coli* por digestão anaeróbia mesofílica. Essa condição, em parte, é atribuída às condições de temperatura nos tratamentos, que não são particularmente desafiantes para a sobrevivência de agentes patogênicos entéricos, bem como ao modo de operação, sendo que no *by-pass* lodos não tratados ou parcialmente tratados são removidos.

Quanto à digestão aeróbia, para Processos de Redução Significativa de Patógenos, segundo CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006), esta deve ser realizada com ar ou oxigênio, com retenções mínimas de 40 dias a 20°C ou por 60 dias a 15°C.

Para processo de Redução Adicional de Patógenos pode ser realizado o processo de digestão aeróbia termofílica a ar ou a oxigênio, tendo tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60 °C.

No Estado do Paraná, o processo de estabilização do lodo mais usado é o de digestão anaeróbia, por sistema de tratamento em reatores anaeróbios de fluxo ascendente, tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

### 2.1.3 Reator Anaeróbio Tipo UASB

No reator UASB, a produção e os processos de estabilização do lodo são realizados em meio líquido (manto de lodo) e geram um material de alto teor de umidade, o que torna imprescindível a remoção de umidade (desidratação) caso haja necessidade de qualquer operação subsequente do tratamento e/ou transporte do lodo para fins diversos (AISSE *et al.*, 1999), reduzindo-se assim também os custos com seu transporte e com sua disposição final (AMUDA *et al.*, 2008).

No Estado do Paraná, predominam as ETEs que tratam os esgotos em estações de tratamento que utilizam Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado (Ralf), uma variação dos Reatores UASB ou reator anaeróbio de manta de lodo, seguidos de pós tratamento. Essa tecnologia foi desenvolvida na Holanda na década de 70 (LETTINGA *et al.*, 1980). O sistema consiste em um reator de fluxo ascendente, de separação trifásica na parte superior, que possibilita a separação do gás (que pode ser captado e aproveitado), da fase líquida (efluente tratado) e a sedimentação dos sólidos no interior do reator, contendo uma zona de lodo, cuja biomassa é responsável pela degradação biológica do esgoto. As unidades atingem níveis de

redução entre 65% e 80% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) a um custo menor que o dos sistemas convencionais de tratamento (CHERNICHARO, 1997; ANDREOLI *et al.*, 1998; SEGHEZZO *et al.*, 1998; VON SPERLING *et al.*, 2001). O clima quente, predominante no país, é altamente favorável às reações de biodegradação que ocorrem no interior dos reatores (PIMENTA *et al.*, 2005).

A composição do lodo dos reatores UASB pode variar em virtude da periodicidade das descargas, porém é um lodo mais mineralizado, tendo menor teor de matéria orgânica e nutrientes com umidade variável (ANDREOLI *et al.*, 1997). As ETEs que tem o UASB (FIGURA 2.5) como tecnologia de tratamento de esgoto apresentam menor produção de lodo em relação aos sistemas aeróbios. Enquanto o tratamento aeróbio produz cerca de 45 g de SST/habitante/dia e o anaeróbio produz 15 g de SSTotais/habitante/dia (PEGORINI *et al.*, 2003).

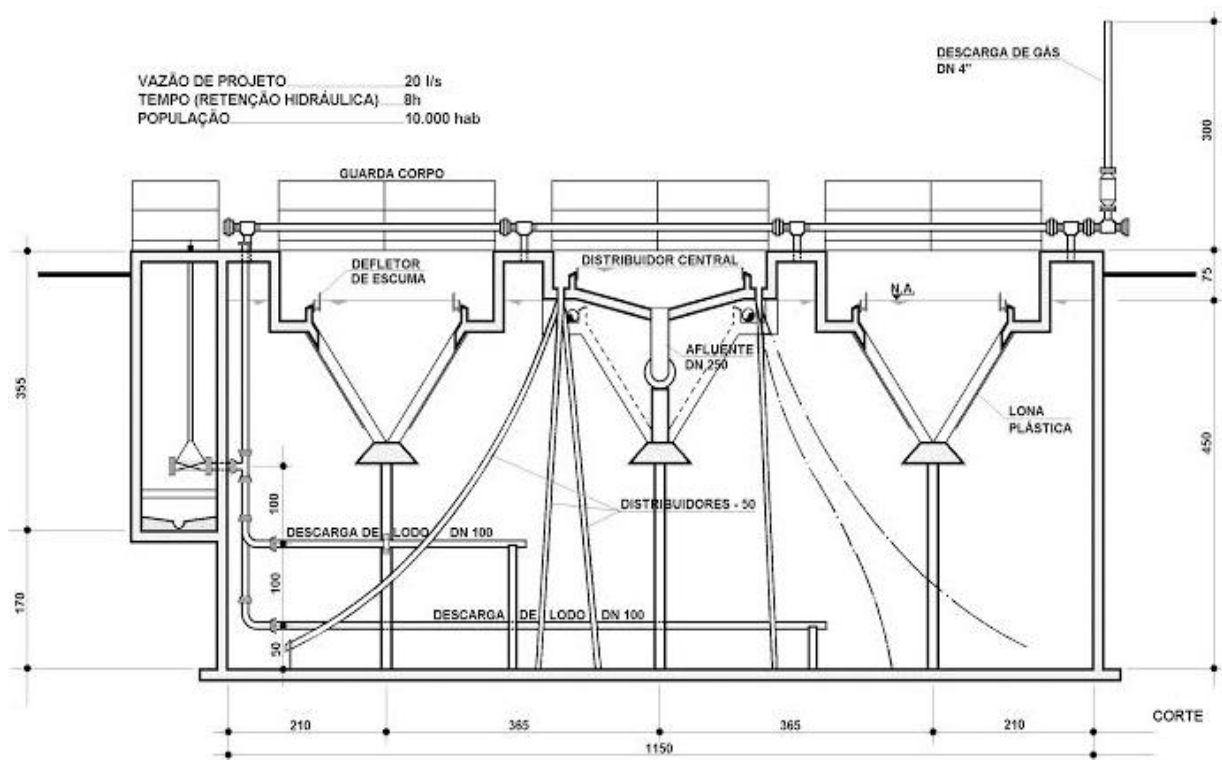


FIGURA 2.5 – ILUSTRAÇÃO DE UM REATOR UASB EM PERFIL  
 Fonte: Aisse (2000) citando Sanepar

#### 2.1.4 Tanques sépticos

Os tanques sépticos são amplamente utilizados no país, gerando significativas quantidades de lodo. A necessidade de conhecer as características qualitativas e quantitativas do lodo nessas unidades é imprescindível para que a

gestão do mesmo possa ser feita da melhor forma em diversas etapas de sua geração e disposição.

Nas regiões das cidades onde não há infraestrutura hidráulica e sanitária, restam as alternativas do lançamento dos esgotos nas valetas de drenagem a céu aberto (usadas para drenagem de águas pluviais e de solos saturados) ou na infiltração no solo, desde que haja boas condições de percolação. As valetas a céu aberto expõem as populações a riscos sanitários e problemas ambientais que afetam as suas condições de saúde e qualidade de vida.

O uso de tanques sépticos e sumidouros é uma forma adequada para a gestão dos efluentes domésticos como tratamento individualizado, principalmente em regiões com baixo adensamento populacional, onde o custo para levar rede de esgoto torna-se muito elevado. Contudo essa opção tecnológica requer a retirada sistemática do lodo e alternativas para o destino do lodo retirado desses sistemas, o que raramente é observado na prática.

A parcela de matéria orgânica não estabilizada presente no lodo séptico confere a esse tipo de resíduo um potencial de poluição elevado, contribuindo também para a geração de odores desagradáveis e para a atratividade de vetores. São encontradas concentrações elevadas de bactérias e helmintos causadores de doenças no lodo séptico (ANDREOLI, CARVALHO e MEYER, 2015). O lodo séptico, a exemplo de outros subprodutos gerados no saneamento, requer alternativas de tratamento e de destinação final para minimizar os impactos ambientais negativos durante o ciclo de vida desse resíduo (LUPATINI *et al.* , 2009).

O tanque séptico apresenta características de um sistema de tratamento anaeróbio, por apresentar baixa produção de lodo, baixa demanda de área, baixos custos de implantação e aplicabilidade em pequena e grande escala. Essas características fizeram com que este sistema se tornasse bastante utilizado em regiões que não são servidas por coleta e tratamento de esgotos sanitários (CHERNICHARO, 1997).

De acordo com a NBR 7229 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993), tanque séptico é definido como “unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão” (FIGURA 2.6).

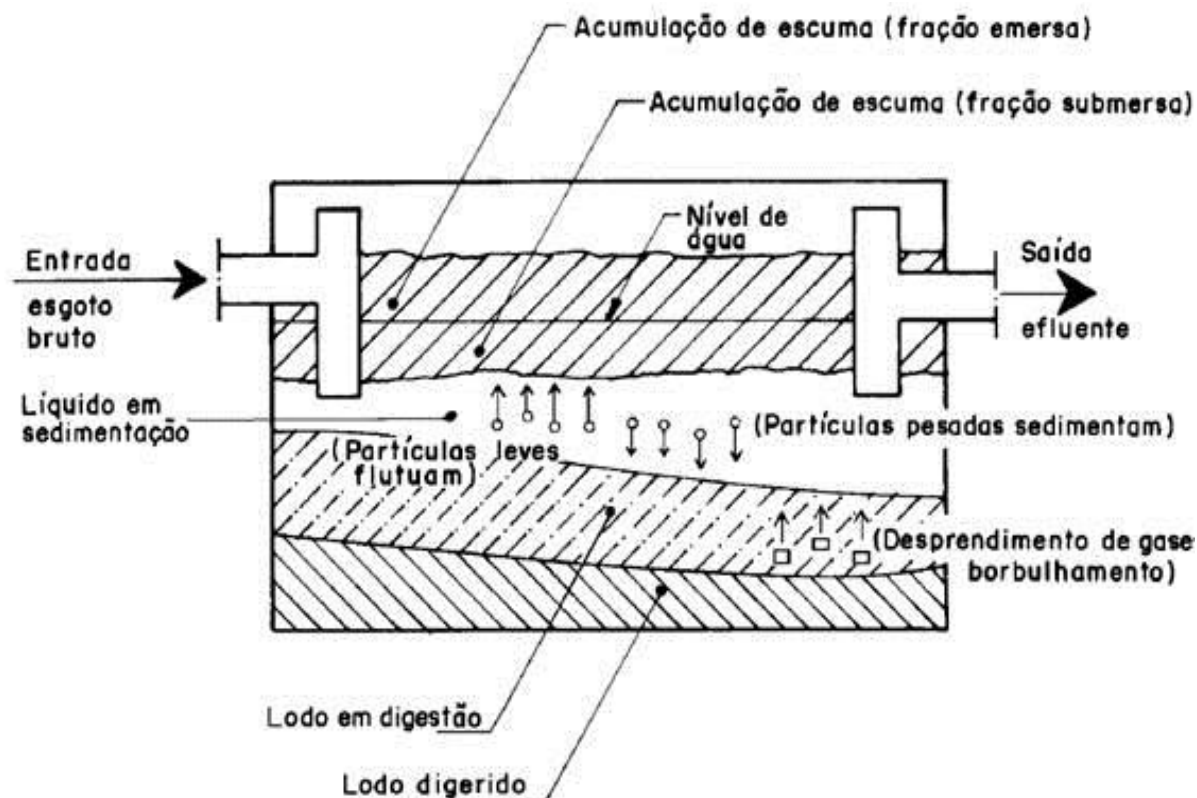


FIGURA 2.6 – FUNCIONAMENTO GERAL DE UM TANQUE SÉPTICO  
 Fonte: NBR ABNT (1993)

Nos tanques sépticos, parte do lodo sedimenta no fundo e outra parte flota, formando a espuma, ou lodo flotante. Na parte intermediária fica o esgoto que pode ocupar proporções distintas do volume do reator em função de vários fatores de forma e sobretudo das condições operacionais.

Segundo Hartmann *et al.* (2009), no estudo no âmbito do ProSab 5 - Tema 6, uma fossa e um tanque séptico são diferenciados principalmente no fato de o tanque séptico ser uma unidade de tratamento de esgotos, com efluente a ter um destino final, que em sistemas de disposição local de esgotos geralmente é a infiltração no solo através de sumidouro ou valas de infiltração, ao passo que a fossa é utilizada para disposição final dos esgotos, sendo funcionalmente distintos.

Segundo o IBGE, fossa rudimentar é uma denominação genérica utilizada para sistemas de tratamento individualizados que não possuem as especificações técnicas de construção e operação satisfatórias, como “fossas negras”, “poço”, “buraco”, entre outros, dentre os quais, compreendem os diversos outros tipos de fossa, à exceção da séptica. Fossas rudimentares não funcionam de maneira

adequada, podendo poluir o solo e, conseqüentemente, os aquíferos de água e rios (PLANSAB, 2014).

A remoção do lodo produzido nos tanques sépticos deve ser realizada de forma programada, bem estabelecida e monitorada, para que o sistema mantenha-se eficiente. A NBR 7229 recomenda intervalos de limpeza de no mínimo um e no máximo cinco anos. Eventualmente, efetua-se a limpeza dos tanques sépticos quando o lodo atingir camada igual ou superior a 50 cm, ou 1/3 da profundidade de líquido no tanque para unidades maiores (JORDÃO e PESSOA, 2005). Contudo, observa-se na prática que o esgotamento nem sempre é realizado de acordo com a norma.

A matéria removida a partir de sistemas de disposição local de esgotos, os sistemas estáticos ou sistemas individuais, seja uma fossa rudimentar ou um tanque séptico bem projetado e construído, é uma mistura de esgotos e lodo, que não apresenta as características típicas dos esgoto nem do que se conhece normalmente como lodo na terminologia da Engenharia Sanitária, sendo necessária uma definição própria.

A partir dos resultados da experiência em pesquisas nacionais, no âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – Prosab 5 (Ingunza *et al.* 2009), na Tabela 2.2 tem-se os valores mínimos, máximos e a média, resultantes de uma caracterização físico-química de lodos de tanques sépticos, obtidos aleatoriamente, utilizando o procedimento de coletar alíquotas dos resíduos descartados pelos caminhões limpa-fossa na entrada da ETE.

A grande heterogeneidade da composição do lodo séptico e a faixa de variação extensa das concentrações dos parâmetros avaliados é decorrente da procedência desses lodos por unidades distintas (tanques sépticos, fossas, sumidouros, etc.). Apesar de todas serem fossas, tecnicamente havia variações de construção, operacionalidade, tempo para os esgotamentos, além de serem de diferentes contribuintes. Os procedimentos realizados durante o esgotamento dos sistemas pelas empresas imunizadoras (limpa-fossa) contribuem para a grande variabilidade das características do lodo séptico, visto que têm como prática o esgotamento não só dos tanques, mas também dos sumidouros. Os resíduos são diluídos e pratica-se comumente o lançamento de significativas quantidades de água para “lavar o sistema” no final do esgotamento.

TABELA 2.2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LODO DE TANQUES SÉPTICOS

	FAE/SANEPAR/UFPR				UFRN				UnB				USP			
	N	Mín	Máx	Méd	N	Mín	Máx	Média	N	Mín	Máx	Média	N	Mín	Máx	Média
pH	22	5,1	8,4	7,2	125	4,2	8,3	6,6	15	5,9	7,9	7,1	31	6	7,5	6,9
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	21	132	1618	773	123	0	2051	471	15	79	1450	390	18	219	878	477
Condutividade (µS/cm)	22	805	2800	1636	122	231	11270	1193	-	-	-	-	-	-	-	-
DBO (mg/L)	21	137	6280	2734	62	89	14242	2176	-	-	-	-	30	76	7413	1524
DQO (mg/L)	21	700	24600	11219	116	212	23492	4205	13	108	6932	1281	32	162	22445	4491
N amoniacal (mgNH <sub>3</sub> -N/L)	22	33	264	124	118	3	277	75	13	11	98	51	20	76	396	167
NTK (mgN/L)	22	50	1211	444	121	23	511	129	11	53	473	160	8	16	168	90
Fosforo total (mgPO <sub>4</sub> /L)	22	4	459	132	-	-	-	-	14	0	52	14	18	17	73	39
Óleos e graxas (mg/L)	21	130	7037	1908	118	2	6419	613	-	-	-	-	23	7	2803	345
ST (mg/L)	22	1051	38000	12116	122	399	28590	6508	8	715	45555	10214	30	695	27932	5216
STV (mg/L)	22	687	33628	7891	122	233	22146	4368	7	133	31097	7368	29	214	21152	3053
SST (mg/L)	12	566	19750	6656	114	134	22276	3891	8	574	35853	6395	29	200	19280	3257
SSV (mg/L)	12	500	15266	4361	113	120	16050	2776	7	257	24047	4996	28	48	11032	1749
S Sed (mL/L)	21	2	600	145	121	0	825	136	15	0	450	70	28	1	250	50

FONTE: Ingunza *et al.* (2009)

NOTA: N - número de parâmetros; FAE/SANEPAR/UFPR: lodo coletado na Região Metropolitana de Curitiba; USP: lodo coletado na Região de São Carlos - SP.

Pelos resultados obtidos por Ingunza *et al.* (2009) (Tabela 2.2), os resíduos esgotados pelos caminhões limpa-fossa são muito mais concentrados que do que os de esgotos sanitários, mas não chegam a ter características semelhantes às de lodo de ETE. Os autores ressaltam que ao se projetarem sistemas para condicionamento desses resíduos é necessário levar em consideração não apenas a elevada concentração de matéria orgânica, as elevadas concentrações das formas do nitrogênio e as concentrações de sólidos que lhe são características, e que não são típicas de lodo de ETE nem de esgotos sanitários. É importante realizar o esgotamento dos tanques sépticos dentro do período considerado nos seus projetos.



## 2.2 DESIDRATAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

Após a estabilização, o lodo deve ser submetido a um processo de redução de umidade. A desidratação de lodo é uma operação unitária que reduz seu volume do lodo em excesso através da redução de seu teor de umidade (AMUDA *et al.*, 2008, ANDREOLI *et al.*, 2001). O teor de sólidos é o fator mais importante relativo aos volumes de lodos. As etapas de adensamento e desaguamento reduzem o volume de lodo em mais de 50% do seu volume inicial (AISSE, FERNANDES E SILVA, 1999), facilitando o seu destino final, permitindo assim seu manuseio e uso como insumo agrícola (AISSE *et al.*, 1998).

TABELA 2.3 – TEOR DE SÓLIDOS NO LODO DO TRATAMENTO DE ESGOTO DE ACORDO COM O TIPO DE ESTABILIZAÇÃO E EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA O DESÁGUE

TIPO DE ESTABILIZAÇÃO	DESAGUAMENTO	TEOR DE SÓLIDOS NO RESÍDUO (%)
Digestão Anaeróbia	Filtro prensa de placas	30 a 40
	Filtro prensa de esteiras	16 a 25
	Centrífugas	25 a 30
	Leitos de secagem	20 a 30
Digestão Aeróbia	Filtro prensa de placas	25 a 35
	Filtro prensa de esteiras	13 a 18
	Centrífugas	20 a 25
	Leitos de secagem	25 a 30

Fonte: ALÉM SOBRINHO (2001)

O teor de umidade do lodo de esgoto depende do tipo de estabilização e desaguamento utilizados. Na Europa, a desidratação mecânica é utilizada em ETEs maiores e substitui a secagem ao ar em muitos países. No Reino Unido, a desidratação é realizada por métodos exclusivamente mecânicos. Os principais métodos são filtros a vácuo (12 – 22% ST), filtros prensas de placas e quadros (35 – 45%), centrífugas (com 25-35% ST) e filtro prensa de esteira (20 – 32% ST) (USEPA, 1999).

A eficiência do processo de desaguamento por centrifugação está relacionado à concentração de sólidos voláteis no lodo, assim quanto maior o grau de estabilização do lodo a ser desaguado, melhor será o desempenho da centrífuga e, por conseguinte, o teor de sólidos na torta gerada (ANDREOLI *et al.*, 2001). As centrífugas tipo decanter são equipamentos que podem fornecer lodo desidratado

com teor aos 30%, conforme informam seus fabricantes (AISSE e ANDREOLI, 1999).

Para ETEs de pequeno porte, localizadas em regiões onde não haja restrição de disponibilidade de área, processos naturais são considerados opções adequadas. Por sua vez, ETEs de maior porte tendem a utilizar desidratação mecânica (VON SPERLING e GONÇALVES, 2001). Neste sentido, vários autores já apresentaram trabalhos utilizando-se das condições meteorológicas locais, principalmente em climas quentes e secos, na secagem de lodo gerado no tratamento dos esgotos.

### 2.2.1 Leitões de secagem

A desidratação de lodo em leitões de secagem é um método bastante difundido no Brasil, tendo sido uma das primeiras técnicas usadas para a separação de sólido-líquido do lodo. Seu custo de implantação é menor comparado aos processos mecanizados, porém uma de suas principais desvantagens desse método é a quantidade de área requerida para se fazer o desaguamento (FIGURA 2.8) (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Este processo se destaca por sua simplicidade de operação e manutenção, porém, além da umidade inicial do lodo, inúmeros fatores climáticos como precipitação, insolação e ventos podem interferir no ciclo de secagem, diferenciando-o nas diferentes regiões do país (van HAANDEL e LETTINGA, 1994; CHERUBINI, 2002). Apesar disso este processo é bastante atrativo, mesmo para as regiões temperadas do Sul, onde as condições climáticas não são tão favoráveis quanto no Norte e Nordeste do país.

Geralmente projetados e construídos em forma de tanques retangulares, os leitões de secagem são unidades de tratamento, que têm por objetivo desidratar, por meios naturais, o lodo digerido (JORDÃO e PESSOA, 1995; AISSE e ANDREOLI, 1999). No interior do tanque são acrescentados areia e brita, seu interior é dividido em três segmentos: soleira drenante, camada suporte e sistema de drenagem (van HAANDEL e LETTINGA, 1994).

A soleira drenante, de aproximadamente 0,5 m de profundidade, permite que o líquido presente no lodo infiltre por camadas sucessivas de areia e pedregulho com diferentes granulometrias. A camada suporte é formada por tijolos cozidos, permitindo uma melhor distribuição do lodo e impedindo o entupimento dos poros da superfície da soleira drenante. O sistema de drenagem é composto por tubos

assentados com juntas abertas, colocados no fundo do tanque, e que recolhem todo o líquido percolado no leito (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). A digestão confere ao lodo uma densidade menor que a unitária, tendendo à flutuação do material digerido durante o processo de secagem. Seu acúmulo na superfície permite o desprendimento do líquido intersticial pela parte inferior. A malha de drenagem prevista na parte inferior do sistema permite a retirada e afastamento desse líquido (AISSE e ANDREOLI, 1999). O líquido drenado coletado deverá retornar à entrada da ETE e ao lodo seco deve ser dada a disposição adequada (BRASIL, 2011).

A percolação e a evaporação são dois processos fundamentais para definir a produtividade de leitos de secagem. Na percolação, a água é drenada através da camada de lodo para o leito de areia até que toda água livre seja retirada.

Os leitos podem ser instalados ao ar livre ou cobertos para proteção contra a influência das chuvas e das geadas. A secagem é realizada em batelada, com o rodízio de vários leitos.

Van Haandel e Lettinga (1994) definiram como produtividade a razão entre a carga de lodo aplicada (em termos de SST) e o tempo total de um ciclo de secagem ( $P = Cs/Tt$ ) para uma umidade final desejada. A partir disso, o tempo total de um ciclo de secagem é a soma dos tempos necessários para encher o leito com lodo, secar o lodo até a umidade desejada e remover o lodo seco. O tempo necessário para um ciclo de secagem do lodo num leito é composto por quatro períodos diferentes (AISSE e ANDREOLI, 1999), como segue:

$$T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \text{ (dias)}$$

Onde:

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

$T_2$  = Tempo de percolação;

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

$T_4$  = Tempo para remoção dos sólidos secos.

Os períodos  $T_1$  e  $T_4$  dependem essencialmente de fatores relacionados com a gerência do leito.

São operados em regime de batelada, sendo necessária a remoção do lodo seco, antes da aplicação de cada nova batelada para o bom funcionamento do leito. Inicialmente, a percolação é o processo que mais contribui na remoção da água, entretanto só é viável até que o lodo atinja o teor de sólidos de aproximadamente

20% (AISSE *et al.*, 1999), prevalecendo a partir daí o processo de evaporação para a continuidade da remoção da umidade (BUENO, 2000). Após a saída do reator UASB, o lodo após ser desaguado em leitos de secagem, apresenta umidade final de 30 a 40% (ANDREOLI *et al.*, 1998). O material seco é retirado do local manualmente através de pás ou retroescavadeira (BUENO, 2000).

Na

FIGURA 2.8, encontra-se um desenho esquemático de um leito de secagem.

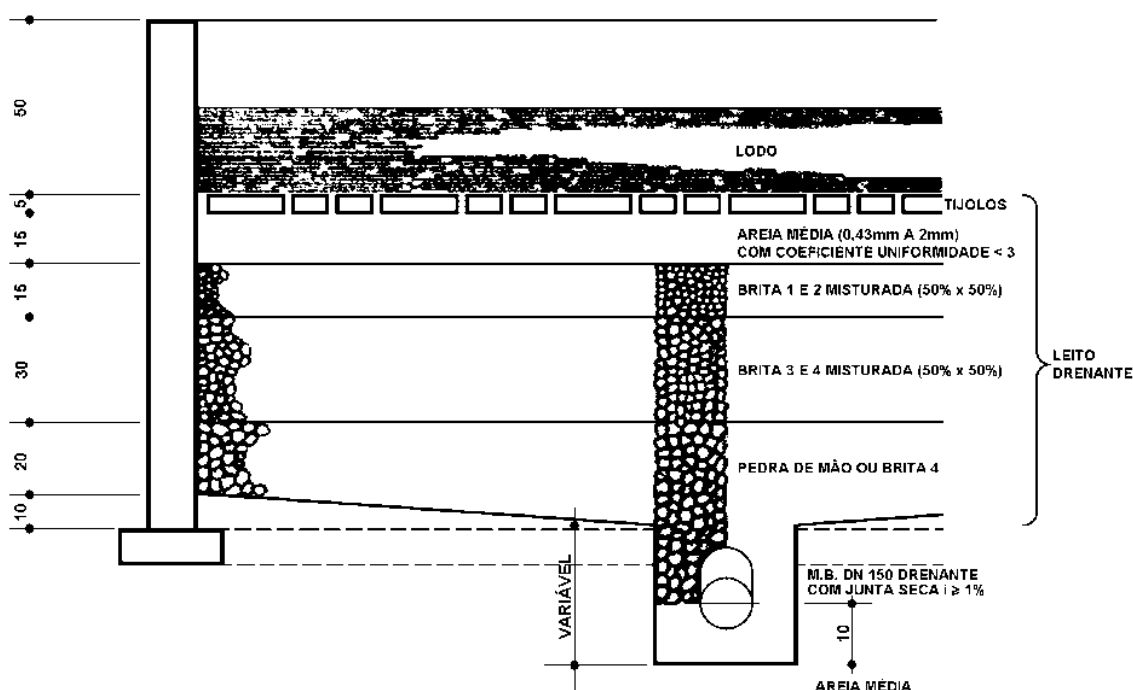


FIGURA 2.7 – PERFIL ESQUEMÁTICO DE UM LEITO DE SECAGEM  
 FONTE: Aisse (2000) citando Sanepar

A qualidade do lodo no leito de secagem é considerada muito boa quando comparada a outros métodos de secagem. Além da possibilidade de se obter um produto com menor umidade, com teores menores do que 50% (van HAANDEL, 1999), a qualidade higiênica do lodo é melhor do que outros métodos de desidratação (GONÇALVES *et al.*, 2001).



FIGURA 2.8 – VISTA GERAL DE LEITO DE SECAGEM CONVENCIONAL  
FONTE: O autor (2013)

Existem várias formas de associar desaguamento e higienização do lodo, porém o uso de leitos de secagem já é uma tecnologia difundida, principalmente em estações de pequeno porte, aliando eficiência e baixo custo.

Inúmeros fatores climáticos como precipitação, insolação e ventos podem interferir no ciclo de secagem, diferenciando-o nas diferentes regiões do país (van HAANDEL e LETTINGA, 1994; CHERUBINI, 2002).

Ramaldes *et al.* (2001) geraram um gráfico (FIGURA 2.9) onde estão representados dados obtidos por eles e por pesquisadores em diversas regiões do país, AISSE e ANDREOLI (1998) – RM de Curitiba/PR, LIMA *et al.* (1999) – Vitória/ES, Catunda *et al.* (1998) – Campina Grande/PB, Além Sobrinho (1996) – São Paulo/SP e Daltro *et al.* (1994) – Aracajú/SE, representando a relação entre a taxa de aplicação e o tempo necessário para obtenção de diferentes umidades, a partir de estudos em escala real e de laboratório sobre o desempenho de leitos de secagem na desidratação de lodos.

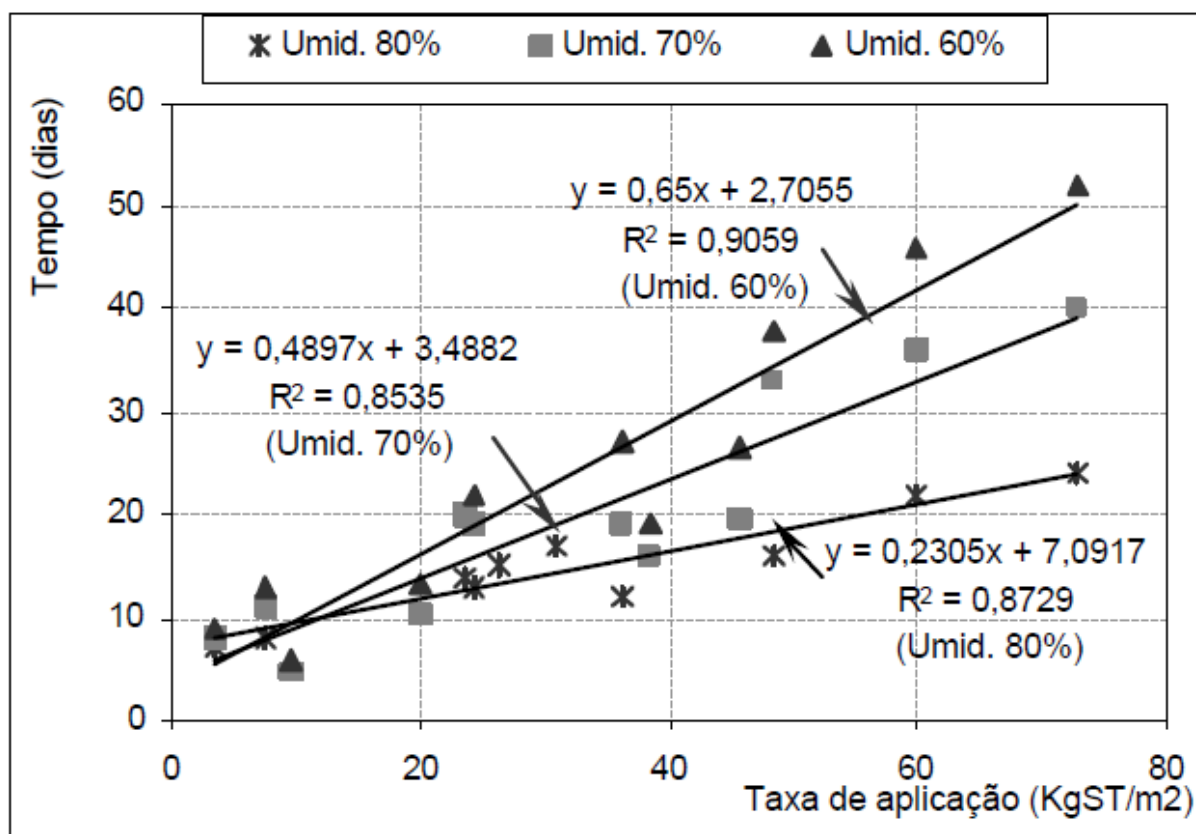


FIGURA 2.9 – RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE APLICAÇÃO E O TEMPO NECESSÁRIO PARA OBTENÇÃO DE DIFERENTES UMIDADES UTILIZANDO DADOS DE DIFERENTES PESQUISADORES

FONTE: Ramaldes *et al.* (2001)

As curvas apresentadas demonstram que apesar das diferenças climáticas entre as regiões brasileiras e da utilização de leito de secagem em escala real e piloto, é possível estabelecer uma boa relação entre o teor de umidade final, o tempo requerido para atingir tal teor de umidade e a taxa de aplicação adotada, mesmo com diferentes tipos de lodo.

Almeida *et al.* 2006, visando avaliar a eficiência dos processos químico e térmico na higienização do lodo de esgoto, em estudo no Paraná, utilizaram lodo oriundo de reator UASB, que permaneceu três meses em leitos de secagem para desaguamento. Após o desaguamento em leito, a densidade de coliformes termotolerantes observada foi de  $1,3 \times 10^7$  NMP.

Uma pesquisa desenvolvida por Barros *et al.* (2005) indicou que o pH do lodo é reduzido com o desaguamento. Os autores sugerem que isso pode estar relacionado com fatores ambientais relativos à exposição dos lodos nos leitos de secagem. No processo de secagem, ocorre a decomposição da matéria orgânica, sendo formados os ácidos orgânicos e liberados os cátions (K, Ca, Na, Mg). Houve

aumento na condutividade elétrica e nos sólidos totais fixos e, por conseguinte, redução dos sólidos totais voláteis. O ciclo do leito de secagem foi de 20 dias em temperaturas ambientes de 24 °C a 36 °C. Com relação aos nutrientes, com o desaguamento houve perda de potássio e nitrogênio, relacionada com a perda de água e aumento dos teores de sulfato e fósforo.

Correia (2015) realizou a caracterização de indicadores microbiológicos do lodo gerado na ETE Contorno, no município de Feira de Santana, Bahia, tratado por lodos ativados. O desague do lodo em leito de secagem ocorreu por 3 meses, atingindo um teor de sólidos totais de 90%. Após esse período, foi observada ausência de ovos viáveis de helmintos e densidade de coliformes termotolerantes de  $2,32 \times 10^5$  NMP/g ST. Cherubini *et al.* (2002) desenvolveram pesquisa sobre a secagem e higienização do lodo anaeróbio em leitos de secagem através da solarização. Os autores avaliaram três leitos, um convencional e dois com cobertura plástica (solarização). No leito de secagem convencional, utilizado como testemunha, inicialmente havia 17 ovos viáveis de helmintos no lodo oriundo de reator tipo RALF, sendo observado decorridos 60 dias, 8 ovos viáveis de helmintos na camada superficial do leito, enquanto na camada profunda do perfil foram encontrados 29 ovos viáveis apontando o processo de sedimentação dos ovos em leitos de secagem. A rápida sedimentação dos ovos pode funcionar como fator de proteção e permanência desses microrganismos no lodo, pois, em camadas mais profundas do leito, em condições de maior umidade, temperaturas mais amenas e proteção contra raios solares, os helmintos encontram fatores propícios à sobrevivência de suas espécies (ANDREOLI; CHERUBINI; FERREIRA, 2002).

Os autores apontam a dificuldade de coleta do lodo líquido em leitos de secagem para análises parasitológicas e a necessidade de padronização para coletas, além da criação de equipamento específico para amostragem de lodo em estado líquido nos leitos de secagem, visando a representatividade da amostra em todo o perfil, principalmente das camadas inferiores, local onde os ovos de helmintos tendem a se concentrar devido características peculiares de peso específico dos ovos das diferentes espécies, normalmente maiores que  $1\text{g/cm}^3$ .

Santos (2012) buscou caracterizar o lodo oriundo de reator UASB disposto em leito de secagem por três meses, para verificar a possibilidade de utilização deste na agricultura, no Estado da Bahia. O experimento foi realizado com células de leitos de secagem em escala-piloto, com dimensões de 1,00 x 2,00 x 1,00 m e

área superficial de  $1\text{m}^3$  no lodo retirado de leito a 4,8 metros. Ocorreu a redução de 107 ovos viáveis de helmintos para 2,84 ovos e de 141 ovos para 0,44 ovo viável, após 90 dias em leitos de secagem, enquanto coliformes termotolerantes foram reduzidos de  $10^6$  para  $10^5$  e  $10^3$  em 30 e 90 dias respectivamente no leito. A redução de *Salmonella* spp. foi pouco expressiva no ciclo do leito. Inicialmente a densidade da bactéria era de  $1,82 \times 10^7$  e após 90 dias de  $1,41 \times 10^7$ . A autora observou, em relação à *E. coli* e *Salmonella*, taxa de sobrevivência similar ao longo do tratamento. Com 90 dias em leito, a *Salmonella* reduziu 0,11 log enquanto a *E. coli* reduziu 0,95 log.

Souza (2012) buscou avaliar a secagem de lodo de esgoto em dois leitos de secagem em escala piloto ( $1,80\text{ m}^2$ ), um coberto e o outro descoberto, com altura de 30 cm de lodo, sendo revolvidos 3 vezes por semana em ciclos de 30 dias, no verão e no inverno. Ao final do ciclo, no verão, o teor de ST (%) foi de 58%, enquanto no inverno o sistema teve menor eficiência, 18% de ST. Quanto a influência da cobertura, o leito de secagem coberto apresentou melhor eficiência que o descoberto no processo de secagem do lodo no ciclo realizado no verão, enquanto que no ciclo realizado no inverno o leito aberto apresentou pequena vantagem (2%) em relação ao coberto.

### 2.3 PRINCIPAIS PATÓGENOS ENCONTRADOS NO LODO DE ESGOTO E ORGANISMOS INDICADORES

Como reportado anteriormente, as tecnologias disponíveis para higienização do lodo buscam minimizar os riscos da transmissão de doenças de veiculação hídrica, por meio da redução da concentração de patógenos, em níveis que assegurem sua utilização agrícola de forma irrestrita. A maioria dos países que possuem normas quanto aos aspectos sanitários da disposição agrícola do lodo relacionam várias tecnologias de processamento que, se operadas adequadamente, são capazes de produzir lodo com níveis de patógenos aceitáveis dentro dos critérios estabelecidos. A Tabela 2.4 apresenta os principais agentes patogênicos presentes no lodo e doenças vinculadas aos mesmos.



TABELA 2.4 – PRINCIPAIS ORGANISMOS ENCONTRADOS NO LODO CORRELACIONADOS COM AS DOENÇAS CAUSADAS.

ORGANISMO	DOENÇAS /SINTOMAS
<b>BACTÉRIA</b>	
<i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> sp. <i>Yersinia</i> sp. <i>Vibrio cholerae</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Escherichia coli</i> (cepas patogênicas)	Salmonelose; Febre tifóide Disenteria bacilar (inclusive diarreias e dores abdominais). Gastroenterite aguda Cólera Gastroenterite Gastroenterite
<b>VÍRUS ENTÉRICOS</b>	
<i>Vírus da hepatite A</i> <i>Vírus e semelhantes</i> <i>Rota vírus</i>	Hepatite infecciosa Gastroenterite epidêmica e diarreia grave Gastroenterite aguda e diarreia grave
<b>ENTEROVÍRUS</b>	
<i>Poliovírus</i> <i>Coxsackievirus</i>  <i>Ecovirus</i>  <i>Reovirus</i> <i>Astrovirus</i> <i>Calicivirus</i>	Poliomielite Meningite, pneumonia, hepatite, febre, sintomas parecidos com a gripe Meningite, paralisia, encefalite, febre, sintomas de gripe, diarreia Infecções respiratórias, gastroenterite Gastroenterite epidêmica Gastroenterite epidêmica
<b>PROTOZOÁRIOS</b>	
<i>Cryptosporidium</i> sp. <i>Entamoeba histolítica</i> <i>Giárdia lamblia</i>  <i>Balantidium coli</i> <i>Toxoplasma gondii</i>	Gastroenterite Enterite aguda Giardíase (inclusive diarreia, caimbras abdominais e perda de peso) Diarreia e disenteria Toxoplasmose
<b>HELMINTOS</b>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>  <i>Ascaris suum</i> <i>Trichuris trichiura</i> <i>Toxocara canis</i>  <i>Taenia saginata</i>  <i>Taenia solium</i>  <i>Necator americanos</i> <i>Hymenolepis nana</i>	Distúrbios digestivos e nutricionais, dores abdominais, vômitos, cansaço Pode produzir sintomas como dor no peito, tosse e febre Dores abdominais, diarreia e anemia, perda de peso Febre, desconforto abdominal, dores musculares, sintomas neurológicos Nervosismo, insônia, anorexia, dores abdominais, distúrbios digestivos Nervosismo, insônia, anorexia, dores abdominais, distúrbios digestivos Doença de Hookworm Teníase

Fonte: USEPA (2003)

Como muitos microrganismos patogênicos estão presentes em números muito baixos no lodo de esgoto e também as técnicas de enumeração de microrganismos patogênicos são difíceis e não confiáveis, microrganismos indicadores adequados são usados como substitutos para medir o decaimento de patógenos no biossólido (SIDHU e TOZE, 2009). Para que um organismo possa ser utilizado como indicador da qualidade microbiológica de lodos, segundo Hurst *et al.* (2002), ele deve atender a diversos critérios, como estar presente em material fecal, apresentar incapacidade de se multiplicar fora do organismo hospedeiro, ser

resistente às condições ambientais e aos processos de tratamento de lodo, estar associado a presença de patógenos e ser de fácil detecção e quantificação.

A associação com a presença de microrganismo patogênico nem sempre fica clara, como reportado por Sidhu e Toze (2009) em estudos de Gibbs *et al.* (1994), quanto a associação com Coliformes Termotolerantes (CTer), estreptococos fecais (EF) e *Salmonella*, e também Eamens *et al.* (1996) na associação de *Salmonella*, *E. coli* e estreptococos fecais durante digestão anaeróbia; Eamens *et al.*, (1996) – *Salmonella*, *E.coli* e EF durante estocagem de biossólidos ou em solo que receberam aplicação de biossólidos; Sorber e Moore (1987) – *Salmonella* e coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (CTer) e estreptococos fecais (EF).

Características de sobrevivência de organismos patogênicos de origem viral, bacteriana e parasítica variam no ambiente, o que indica que nenhum microrganismo pode prever a presença de todos os agentes patogênicos. Por exemplo, uma grande variação nos números de vírus entéricos pode ocorrer ao longo de uma variação relativamente pequena no número de indicadores bacterianos em lodos tratados e não tratados, o que torna indicadores bacterianos quantitativos pobres da presença de vírus (BERG e BERMAN, 1980).

Segundo Bastos, Bevilacqua e Mara (2013), a abordagem brasileira não leva em consideração a dificuldade do monitoramento de rotina para patógenos, o conceito de organismos indicadores e a utilidade de variáveis de controle operacional. Assim, faz-se necessária a realização de pesquisas que verifiquem a eficácia dos processos de higienização na inativação não somente de vírus, mas também de ovos viáveis de helmintos, bem como o estabelecimento de parâmetros de controle operacional, tais como pH, temperatura, tempo de armazenamento, de forma que possam ser utilizados na verificação da eficácia do processo, em conjunto com análises laboratoriais de organismos indicadores.

Os vírus entéricos presentes em lodos de esgoto mais importantes para a saúde pública são os enterovírus, que incluem poliovírus, coxsackievírus e echovírus; e um grupo heterogêneo, que compreendem rotavírus, calicivírus humanos, astrovírus, adenovírus e vírus das hepatites A e E. A maior parte das pesquisas de detecção e quantificação de vírus entéricos em lodos de esgoto limita-se a enterovírus, por apresentarem boa capacidade de crescimento em células de primatas (SIDHU e TOZE, 2009). Os vírus são inativados por temperaturas acima de

20 ° C. Vírus entéricos podem ser destruídos após cerca de 300 dias a 25 ° C. Remoções significativas equivalentes a 4-5 log<sub>10</sub> ocorrem em períodos de tempo muito mais curtos, quando o teor de sólidos totais no lodo desidratado é maior que 83%. O decaimento de vírus entéricos em lodos de esgoto ocorre em função da umidade, temperatura, pH, e também da forma que os vírus estão agregados ou adsorvidos no lodo (SIDHU e TOZE, 2009).

Estima-se que mais de 150 tipos diferentes de vírus são excretados pelos seres humanos, podendo ser encaminhados para o processo de tratamento do esgoto e, conseqüentemente, no lodo (GERBA e SMITH, 2005).

### 2.3.1 Coliformes Termotolerantes

A família Enterobacteriaceae, com os gêneros *Salmonella* spp. e *Enterococcus* spp., e o grupo coliforme são considerados bons indicadores de contaminação fecal, pois em geral são lançados na rede de esgoto em grandes quantidades (GONÇALVES, 1999), não se encontram presentes em solos e águas não poluídas, estão presentes no lodo de esgoto sanitário e são resistentes às condições adversas (VON SPERLING, 2005). Cada pessoa evacua em média, com as fezes, um trilhão de bactérias *E.coli* todos os dias (Von SPERLING, 2005).

O gênero *Escherichia* pertence à família das Enterobacteriaceae, compreende as enterobactérias gram-negativas anaeróbias facultativas, móveis ou imóveis (CHEN e FRANKEL, 2005; NATARO e KAPER, 1998), que fermentam a lactose para formar gás em 48 horas após terem sido colocadas em caldo lactosado a 35°C (TORTORA, FUNKE E CASE, 2005). Os microrganismos pertencentes ao gênero *Escherichia* são considerados membros do trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente (LANDGRAF, 1996; NATARO e KAPER, 1998), tendo uma função importante na manutenção da fisiologia intestinal e exercendo funções protetoras, impedindo a colonização e a proliferação de microrganismos oportunistas (MOXLEY e SMITH, 2010).

A *E. coli* geralmente permanece inofensiva confinada a luz intestinal, contudo, em indivíduos imunodeprimidos ou quando a barreira gastrointestinal é violada, algumas cepas não patogênicas de *E. coli* podem causar infecções (NATARO e KAPER, 1998).

Alguns clones de *E. coli*, altamente adaptados, evoluíram e adquiriram fatores de virulência, o que lhes conferiram a capacidade de causar um amplo espectro de

doenças (KAPER *et al.*, 2004; NATARO e KAPER, 1998). Clones específicos de *E. coli*, denominados *E. coli* diarreio gênicos (DEC), não são da microbiota intestinal e quando alcançam esse órgão são causadores de infecções intestinais (NATARO e KAPER, 1998). As doenças bacterianas infecciosas estão entre as principais causas de morbidade e mortalidade (COHEN, 2000).

Infecções causadas por *E. coli* patogênica podem ser limitadas às superfícies das mucosas ou podem se disseminar em todo o corpo. Três síndromes clínicas gerais resultam a partir de infecção com estirpes patogênicas de *E. coli* inerentemente: infecção do trato urinário; sepse/meningite; e entérico/doenças diarreicas (NATARO e KAPER, 1998).

As amostras de *E. coli* diarreio gênicas, tanto em crianças como em adultos, são classificadas em seis categorias de patótipos, considerando os seus mecanismos de virulência específicos, as síndromes clínicas que causam, os sorotipos (O:H), os aspectos epidemiológicos e/ou os tipos de interação com linhagens celulares *in vitro* (NATARO; KAPER, 1998). Esses patótipos de DEC são: *E. coli* enteropatogênica (EPEC), *E. coli* enterotoxigênica (ETEC), *E. coli* enteroinvasora (EIEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC), *E. coli* enteroagregativa (EOAEC) e *E. coli* que adere difusamente a células epiteliais (DAEC) (NATARO; KAPER, 1998).

### 2.3.1.1 Coliformes em lodo de esgoto

Ratis (2009) realizou a caracterização dos resíduos de fossas e tanques sépticos na cidade de Natal, Rio Grande do Norte. As coletas foram realizadas semanalmente em cinco caminhões diferentes, sendo coletadas cinco amostras de cada caminhão para formar uma amostra composta. A média da concentração de coliformes termotolerantes encontrada pelo autor foi de  $1,38 \times 10^7$  NMP/g ST.

A concentração de coliformes termotolerantes em lodo de tanques sépticos e reator UASB encontra-se na Tabela 2.5.

TABELA 2.5 – CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LODOS DE ESGOTO

	FAIXA	UNIDADE	REFERÊNCIA
Lodo de UASB	$9,3 \times 10^6 - 1,7 \times 10^9$	NMP /g ST	Gibbs <i>et al.</i> (1994)
	$3,4 \times 10^6$ <sup>(1)</sup>	NMP /g ST	Lasobras <i>et al.</i> (1999)
	$7 \times 10^1 - 1,1 \times 10^5$	NMP /g peso úmido	Payment <i>et al.</i> (2001)
	$3,6 \times 10^7$	NMP /g ST	Dahab e Surampalli (2002)
	$6,3 \times 10^6$ <sup>(2)</sup>	NMP /g ST	Assunção e Henrique (2006)
Lodos primários, secundários ou de UASB <sup>(3)</sup>	$10^7 - 10^8$ <sup>(2)</sup> $10^5 - 10^7$ <sup>(2)</sup>	NMP /g ST	Pederson (1981); Andraus <i>et al.</i> (1998); Melo <i>et al.</i> (2000); Vanzo <i>et al.</i> (2000); Epstein (2003); Guzmán <i>et al.</i> (2007);
Tanque séptico	$9,95 \times 10^6$	UFC/100 mL	Santos (2010)
	$1,38 \times 10^7$	NMP /g ST	Ratis (2009)
	$7,5 \times 10^4$ a $2,4 \times 10^7$	NMP/100 ml	Ingunza <i>et al.</i> (2009)
	$10^5 - 10^7$ <sup>(2)</sup>	(NMP 100 mL-1)	Siqueira (2014)
Lodos aeróbio	$2,34 \times 10^5$ e $1 \times 10^7$	NMP/g ST	Comparini (2002)

NOTA: (1) apud SIDHU E TOSE (2009); (2) E. coli; (3) apud BASTOS (2009); (4) digestão aeróbia ou anaeróbia mesofílica.

Alguns pesquisadores reportam o recrescimento de bactérias termotolerantes após o desaguamento do lodo por centrifugação (HIGGINS *et al.*, 2007; QI *et al.*, 2007; CHEN *et al.*, 2011). Segundo Higgins *et al.* (2007), a densidade da bactéria era  $10^4$  UFC/ g ST após digestão anaeróbica mesofílica e a contagem no lodo se elevou para  $>10^5$  UFC/ g ST após ser centrifugado, enquanto após digestão anaeróbica termofílica a densidade da bactéria no lodo era  $10^2$  UFC/ g ST e após a centrifugação se elevou para  $10^6$  UFC/g ST. Uma razão possível para o recrescimento após a desidratação por centrifuga é que durante a digestão anaeróbica, organismos indicadores podem estar em um estado viável mas não culturável (VBNC – Viable But Not Culture) e que após a centrifugação pode ser reativado devido à liberação de sinais químicos durante a desidratação mecânica (HIGGINS *et al.*, 2007). Para Winfield e Groisman (2003), este estado de VBNC (Viable But Not Culture), em que a *Salmonella* e *E. coli* podem permanecer no lodo, representa um grande risco de saúde por causa da probabilidade de recrescimento

quando em contato com um animal hospedeiro, que é o seu habitat natural, pois são bactérias entéricas.

Chen *et al.* (2011) sugeriram que o recrescimento de coliformes fecais após a desidratação por centrífuga pode ser devido à liberação de substratos durante a centrifugação. Esse problema poderia ser resolvido por meio de mínima agitação durante o manuseio.

### 2.3.2 *Salmonella* spp.

O gênero *Salmonella* pertence à família Enterobacteriaceae, taxonomicamente o gênero *Salmonella* está subdividido em duas espécies, *Salmonella entérica* e *Salmonella bongori*. *S. entérica* está subdividida em seis subespécies: *S. enterica* subsp. *enterica* (I), *S. enterica* subsp. *Salamae* (II), *S. enterica* subsp. *arizonae* (IIIa), *S. enterica* subsp. *diarizonae* (IIIb), *S. enterica* subsp. *houtenae* (IV), *S. enterica* subsp. *indica* (VI) (BRENNER *et al.*, 2000). Quase todos os membros da espécie *Salmonella entérica* são potencialmente patogênicos, responsáveis por 99% de todas as infecções humanas. A subespécie entérica apresenta mais de 2400 sorotipos (POPOFF e LE MINOR, 1997; BRENNER *et al.*, 2000; YAN *et al.*, 2003; KIM *et al.*, 2006; GAST, 2007). Os sorovares da espécie *Salmonella entérica*, responsáveis por contaminação alimentar e causadores de salmonelose (TORTORA, FUNKE E CASE, 2005), uma doença gastrointestinal menos grave, são a *Salmonella Enteritidis* e *Salmonella Typhimurium*. Esses sorovares podem crescer rapidamente em alimentos contaminados e causar intoxicação alimentar, provocando diarreia e cólica abdominal (PATRICK *et al.*, 2004). Quando se verificam condições sanitárias precárias, as salmonelas podem contaminar os alimentos (ISLAM *et al.*, 2004). A contaminação por *Salmonella Enteritidis* se dá através do consumo de aves e ovos contaminados, tendo surgido como um problema de saúde pública na Europa e nos Estados Unidos na década de 1980 (PATRICK *et al.*, 2004). Em muitos países se registraram aumentos consideráveis na incidência de doenças transmitidas principalmente pelos alimentos. Dados do programa da OMS para a vigilância epidemiológica da *Salmonella* e outros microrganismos entéricos (44), correspondentes a América do Sul, indicam que entre 2000 e 2004 se produziu um aumento de 43,5% no número de isolamentos da *Salmonella*, para um total de 15.737 isolamentos. Nesse período, os serotipos mais

presentes foram *S. enteritidis* (40%) e *S. typhimurium* (16%) (BINSZTEIN *et al.*, 2006).

A febre tifóide é a doença mais grave ocasionada por bactérias como *Salmonella Typhi*, *Salmonella Paratyphi A* e *Salmonella Paratyphi* (TORTORA, FUNKE e CASE, 2005) e são adquiridas unicamente por contato humano (BROOKS *et al.*, 2009).

As salmonelas são comensais do trato intestinal de vários animais, sobretudo aves domésticas, bovinos e até morcegos, sendo encontradas também em gatos (NAM *et al.*, 2005) e porcos (CATARAME *et al.*, 2006). O gênero *Salmonella* spp. sobrevive às condições adversas do ambiente sendo capaz de se multiplicar fora de seus hospedeiros. São aeróbias ou anaeróbias facultativas. Crescem a uma temperatura menor ou igual a 37 °C, mas podem desenvolver-se a 43 °C. Por várias semanas podem permanecer viáveis no esgoto, em alimentos secos e em matéria fecal (FARRELL *et al.*, 2005). Em solos arenosos, o fator umidade não afeta a ocorrência de *Salmonella*. Embora sua transmissão seja feco-oral, pode também ser transmitida por via respiratória na inalação de poeira contaminada (CAVINATTO e PAGANINI, 2007).

As bactérias do gênero *Salmonella* são encontradas comumente no lodo de esgoto. Sua detecção no lodo tem mostrado ser importante na epidemiologia de Salmoneloses (CAVINATTO e PAGANINI, 2007).

#### 2.3.2.1 *Salmonella* spp. em lodo

O limite estabelecido pela Resolução do Conama 375/2006 (BRASIL, 2006) para o monitoramento de *Salmonella* spp. em lodo de esgoto é a ausência em 10 gramas de sólidos totais, assim grande parte dos estudos refere-se aos aspectos qualitativos, ausência ou presença da bactéria no lodo.

Em pesquisa desenvolvida por Sahlstrom *et al.* (2004), *Salmonella* spp foi encontrada em 67% (43/64) de lodos de esgoto bruto e 55% (38/69) de esgotos tratados. Sua concentração pode variar muito, dependendo dos processos e técnicas de tratamento de esgoto empregadas nas ETEs. Foram encontradas baixas concentrações de *Salmonella* spp em lodo (1 – 52 NMP/g ST) quando comparadas a outras bactérias indicadoras como coliformes fecais, estreptococos fecais e enterococos, geralmente encontradas em ordens de grandeza de  $10^5$ – $10^6$  NMP/g ST

(DAHAB e SURAMPALLI, 2002; GANTZER *et al*, 2001). Segundo Winfield e Groisman (2003), essas bactérias são mais resistentes que a *E. coli* a fatores bióticos, predação microbiana e competição, características adaptativas relacionadas a genes específicos presentes nesse gênero.

A *Salmonella* spp. é capaz de sobreviver a uma grande variedade de condições de estresse, como flutuações de temperatura e pH, alta osmolaridade (WINFIELD e GROISMAN, 2003), baixa disponibilidade de nutrientes e pouca luz do sol. Sua concentração em lodo de esgoto é ampla, quantitativamente e geograficamente (Tabela 2.6).

TABELA 2.6 – CONCENTRAÇÃO DE *Salmonella* spp. EM LODOS DE ESGOTO

	VALOR	UNIDADE	REFERÊNCIA
Lodos primário, secundário ou de reator UASB	$10^2 - 10^4$ <sup>(1)</sup>	NMP/g ST	Pederson (1981); Andraus <i>et al.</i> (1998); Epstein (2003); Gale (2003); Melo <i>et al.</i> (2000); Vanzo <i>et al.</i> (2000);
	$8 \times 10^3$	NMP/g ST	Shammas <i>et al.</i> (2006)
	$10^1 - 10^3$	NMP/g ST	Gibbs <i>et al.</i> (1994)
	$6,2 \times 10^2$	NMP/g ST	Dahab e Surampalli (2002)
	1,2–1,3	NMP/g ST	Pourcher <i>et al.</i> (2005)
	ND – 62	NMP/ 100 ml	Williford <i>et al.</i> (2006)
Lodos Ativados	<0.006473 – 12,19	NMP/ g ST	Krzyzanowski <i>et al.</i> (2014)
Tanques e fossas sépticas	$10^4$ a $10^8$	NMP/100ml	Ingunza <i>et al.</i> (2009)
	ausência	10 g ST	Almeida <i>et al.</i> (2006)
Lodo anaeróbio desaguado em leito de secagem	74 – 126	NMP/4 g	Serenotti (2009)

NOTA: (1): Valores reportados por BASTOS (2013); ND: Não determinado – abaixo do nível de detecção

O recrescimento de *Salmonella* pode ocorrer sob determinadas condições em bio-sólido armazenado (HUSSONG *et al.*, 1985; GIBBS *et al.*, 1997) bio-sólido compostado (SIDHU *et al.*, 2001, 2003) e no solo tratado com bio-sólido (ZALESKI *et al.*, 2005), mesmo após ter diminuído a níveis abaixo do limite de detecção.

No Brasil, foram encontrados poucos estudos quantitativos relacionados a *Salmonella* em lodo de esgoto, a maior parte refere-se a ausência ou presença da bactéria. Em ETE localizada no município de Maringá/PR, Almeida *et al.* (2006) não encontraram presença da bactéria nos lodos de reator UASB desaguado em leitos



de secagem, em amostras de lodo sem tratamento, em lodo tratado com cal e tratado por via térmica.

### 2.3.3 Helmintos

Os helmintos são um dos grupos de organismos patogênicos mais encontrados nas fezes humanas, principalmente em regiões com deficiência sanitária e em países em desenvolvimento. Estes constituem um grupo muito numeroso, com espécies de vida livre e parasitas. As doenças geradas por esses organismos são descritas como helmintíases (JIMENEZ, MAYA, GALVAN, 2007).

O *Ascaris lumbricoides* é o parasito mais frequentemente encontrado na população e o principal indicador da sanidade do lodo de esgoto (SCHWARTZBROD *et al.*, 1987; JIMENEZ-CISNEROS *et al.*, 2000; ANDREOLI *et al.*, 2001; GASPARD e SCHWARTZBROAD, 2001; SIDHU e TOZE, 2009). Os principais fatores relacionados a esse aspecto são: ampla distribuição geográfica; alta frequência do parasitismo na população em diferentes partes do mundo (LELES, 2012); maior capacidade de resistência às condições do meio (SIDHU e TOZE, 2009); baixa dose infectante (NAVARRO *et al.*, 2009; THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1999) e ausência de imunidade específica permanente no hospedeiro (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1999).

Os *Ascaris* são classificados por: Reino: *Animalia*; Superfilo: *Ecdysozoa*; Filo: *Nematoda*; Classe: *Secernentea*; Ordem: *Ascaridida*; Família: *Ascarididae*; Gênero: *Ascaris* (BLAXTER e DENVER, 2012).

O gênero *Ascaris* compreende duas espécies: *Ascaris lumbricoides*, parasita do homem, e *Ascaris suum*, parasita de suínos. Estas espécies são morfológica e geneticamente muito similares (LELES *et al.*, 2012).

Os ovos de helmintos são formados por membranas que funcionam como barreiras de proteção para as variações das condições ambientais, tornando sua resistência à inativação mais elevada. As espécies de helmintos possuem membranas com diferentes características, o que torna as respostas aos tratamentos diferenciadas (ALOUINI e JEMLI, 2001). Foi o que apontaram Maya *et al.* (2010), demonstrando que ovos de *Ascaris* sp., seguidos por ovos de *Toxocara canis*, são mais resistentes a diferentes tratamentos empregados em virtude de sua espessa casca ou envoltório.

Seus ovos podem se desenvolver para o estágio infeccioso no solo sob condições favoráveis – faixa de temperatura de 23 – 33°C, e com fornecimento de

umidade e oxigênio adequados. Desde que as condições permaneçam favoráveis, os ovos permanecem infectantes por vários anos (PIKE, 1983; HALL *et al.*, 1995). O desenvolvimento de ovos de nemátodos no estágio infeccioso é retardado pela temperatura baixa e inibido sob condições anaeróbias (PIKE, 1983).

Ovos de *A. duodenale*, *N. americanus* e *Taenias* podem ser destruídos em lodos estocados quando a umidade do lodo é inferior a 10% (FEACHEM *et al.*, 1983). Condições propícias para o desenvolvimento de ovos de *Toxocara* sp. em solo são temperaturas entre 15 e 35 °C, umidade, proteção solar, devendo se tornar infectantes de duas a cinco semanas (BLOCK, 1986).

Em publicação de 1983, Feachem *et al.* (1983) sugeriam a utilização de *Taenia saginata* e *Ascaris* spp como indicadores da remoção de outros organismos patogênicos e parasitas, devido a suas resistências a condições adversas. Segundo os autores, redução da umidade a valores inferiores a 10% no material estocado assegura a destruição das *Taenias*.

A casca dos helmintos pertencentes ao gênero *Ascaris* é formada por três revestimentos principais: a) membrana externa, irregular, de constituição lipoproteica e recoberta por mucopolissacarídeos; b) membrana quitinosa, intermediária e de espessura variável e c) membrana interna de constituição lipídica (WHARTON, 1983; REY, 2010). A sobreposição desses envoltórios forma uma estrutura compacta resistente às condições de estresse físico (calor), químico (oxidantes, detergentes) ou biológico (proteases) durante as etapas de desinfecção do lodo (MASSARA *et al.*, 2003; GUZMAN *et al.*, 2007).

A Figura 2.10 e a FIGURA 2.11 retratam a morfologia e a ultraestrutura dos ovos de *Ascaris suum*, em avaliação em microscopia eletrônica realizada por Rocha (2015) com o objetivo de avaliar a estrutura dos ovos de *A. suum*.

As fotomicrografias obtidas em Microscopia eletrônica de varredura – MEV (FIGURA 2.10-a-d) apresentam o ovo de *Ascaris suum* como uma estrutura compacta, com casca homogênea, podendo estar revestida por uma membrana irregular, denominada de mamilonada (FIGURA 2.10 a). Essa membrana é constituída, em grande parte, por mucopolissacarídeos e proteínas (QUILÉS *et al.*, 2006) e é secretada pelo útero da fêmea, não sendo constitutiva da oogênese do parasita. A FIGURA 2.10 b, denominada de membrana vitelínica (WHARTON, 1980), apresenta a junção entre a membrana mamilonada e a membrana mais externa constituinte do ovo. Devido a sua menor espessura dentre as camadas do ovo

(aproximadamente 0,2  $\mu\text{m}$ ), a função dessa membrana parece não estar vinculada à proteção mecânica (ROCHA, 2015). Segundo a autora, outras funções que podem estar associadas a essa estrutura são a retenção da luz ultravioleta (QUILÉS *et al.*, 2006) e o auxílio nos processos dispersivos do ovo no meio ambiente devido a sua capacidade de aderência em superfícies (MASSARA *et al.*, 2003).

Ovos decorticados apresentam pouca (FIGURA 2.10 c) ou nenhuma camada mamilonada (FIGURA 2.10 d), assim a camada vitelínica de composição lipoproteica encontra-se diretamente em contato com o meio, auxiliando em processos de desinfecção por radiação (CHERNICHARO *et al.*, 2003).

A estrutura compacta da camada vitelínica, que confere resistência estrutural aos ovos, é auxiliada por outras duas membranas, a saber: membrana quitinosa, intermediária e mais espessa dentre as três membranas; e membrana lipídica, contendo aproximadamente 75% de lipídeos em sua constituição (ROCHA, 2015).

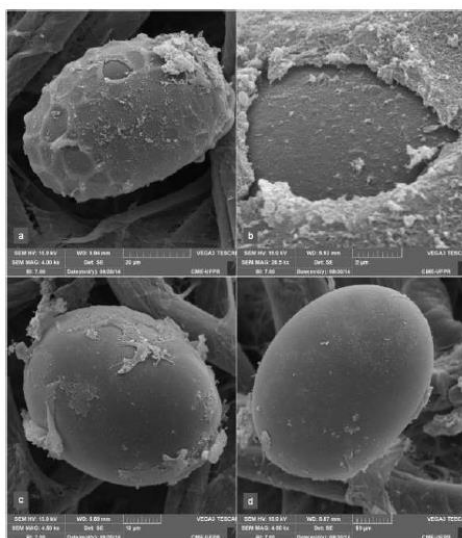


FIGURA 2.10 – MORFOLOGIA DOS OVOS DE *Ascaris suum* EM MEV: A) OVO COM MAMILONADA; B) DETALHE DA JUNÇÃO ENTRE AS MEMBRANAS MAMILONADA E VITELÍNICA; C) OVO PARCIALMENTE DECORTICADO; D) OVO DECORTICADO  
 FONTE: Rocha (2015)

A FIGURA 2.11 apresenta as quatro membranas em corte, visualizadas em microscópio eletrônico de transmissão.

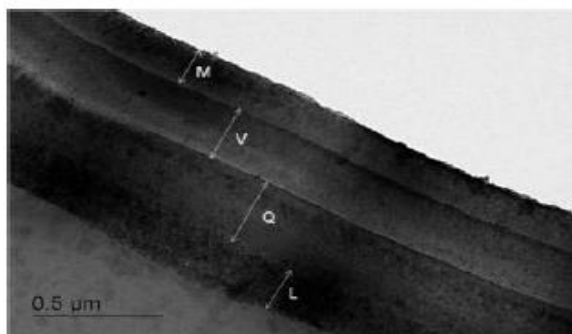


FIGURA 2.11 – ULTRAESTRUTURA DA CASCA DE OVO DE *A. SUMM* : M - MEMBRANA MAMILONADA; V - MEMBRANA VITELÍNICA; MEMBRANA QUITINOSA; L - MEMBRANA LIPÍDICA  
 FONTE: Rocha (2015)

No tocante à viabilidade, os ovos de helmintos podem ser férteis ou fecundados, ou inférteis ou não fecundados. Um ovo fértil é considerado potencialmente viável quando capaz de desenvolver-se até a etapa infecciosa (GALVAN *et al.*, 1998). Ou seja, a fração desses ovos que possuem a possibilidade de completar seu ciclo biológico (fração potencialmente viável). Por serem formados por estruturas bastante resistentes, mantêm-se viáveis mesmo quando submetidos a processos severos de dessecação ou a ação de um forte agente químico (GHIGLIETTI *et al.*, 1997).

O gênero *Trichuris* sp., Filo Nematelminthes, Classe Nematoda, Superfamília *Trichuroidea*, compreende mais de 70 espécies encontradas em diversos grupos de mamíferos: marsupiais, artiodátila, carnívoros, roedores, insetívoros e primatas. *Trichuris trichiura* é um nematoide intestinal da família Trichocephalidae e infecta principalmente a espécie humana e outros grandes primatas (REY, 2008). *Trichuris trichiura* também está entre os parasitos intestinais de maior prevalência na população mundial (REY 2008).

*Ascaris lumbricoides* e *Trichuris trichiura* são uma das associações parasitárias mais encontradas em todo o mundo, em decorrência do mecanismo de transmissão e metabolismo semelhantes, pela estratégia evolutiva adotada por cada um desses parasitos, ocupação de nichos muito próximos fora do hospedeiro, resistência de seus ovos e quantidade de ovos eliminados (REY, 2008; O'LORCAIN e HOLLAND, 2000).

Há pouca informação sobre o comportamento e a fauna helmíntica nos diferentes processos de tratamento de águas residuárias e no bio sólido resultante desses tratamentos (JIMENEZ - CISNEROS, 2007a; 2007b; PAULINO *et al.*, 2001).

Uma grande preocupação é a possibilidade de que o lodo acumulado nas estações em leito de secagem, podendo apresentar agentes patogênicos, chegue a contaminar o solo e os rios, além de ser fonte de infecção para as pessoas e animais que tenham contato com o mesmo (PAULINO, CASTRO e THOMAZ-SOCCOL, 2001).

No lodo de esgoto, os ovos de helmintos encontrados com maior frequência reportados por diversos autores são: *Ascaris* sp., *Trichuris trichiura*, *T. vulpis*, *Trichuroidea*, *H. diminuta* e *Taenia* sp., resultados similares ao encontrados com frequência em lodo de esgoto (PIKE e DAVIS, 1984; PAULINO *et al.*, 2001; USEPA, 2003; JIMÉNEZ, 2007b; JIMÉNEZ *et al.*, 2007, SOUZA *et al.*, 2008; SIDHU e TOZE, 2009; MAYA *et al.*, 2010).

Percebe-se pela revisão da literatura (Tabela 2.7), a grande variabilidade na contagem de ovos de helmintos em lodo de esgoto, em virtude da saúde da população contribuinte e do processo de tratamento dos esgotos.

TABELA 2.7 – CONCENTRAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS EM LODO DE ESGOTO

	VALOR	UNIDADE	REFERÊNCIA
Lodo aeróbio e anaeróbio	28 – 101 0 – 10	ovos/g ST ovos viáveis/g ST	Bueno (2000)
	2 – 53 2 – 45	ovos totais/10g ST ovos viáveis/10g ST	Gantzer <i>et al.</i> (2001) <sup>(1)</sup>
	1,7 29,6	ovos /L	Amahmid <i>et al.</i> (2001) (2002)
	25 – 108	ovos viáveis/g ST	Assunção e Henrique (2006)
Tanque séptico	0 – 688	ovos/L	Santos (2009)
	12 – 126	ovos/L	Santos (2010)
	102	ovos/ g ST	Silva <i>et al.</i> (2008)
Lodo aeróbio	58	ovos/ g ST	Comparini (2002)

NOTA: <sup>(1)</sup> apud Sidhu e Toze (2009).

#### 2.3.4 Contagem e caracterização de ovos de helmintos

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US Environmental Protection Agency – USEPA) preconizou, até o ano de 1992, o controle parasitológico do lodo de esgoto através da realização da identificação, quantificação e avaliação da viabilidade dos ovos de helmintos pelo método desenvolvido por Yanko (1987). Esse método propõe a identificação de diversos tipos de helmintos, não somente *Ascaris*, como o da USEPA (2003).

Jimenez – Cisneros (2007a) reconhece essa técnica como a melhor para a contagem de helmintos, entretanto não recomendam as diferentes modificações do método utilizadas por diversos laboratório, por afetarem diretamente a porcentagem de recuperação. Em estudo comparativo entre as técnicas de Yanko, membrana filtrante, Leeds I e Faust, realizado por Maya *et al.* (2006), a técnica de Yanko foi a mais sensível, detectando a maior quantidade de ovos em amostras com baixas concentrações (1, 3 e 5 ovos/L). Também se obteve maior discriminação entre amostras com valores próximos de ovos e as melhores taxas de eficiência de recuperação.

Thomaz Soccol *et al.* (2000) analisaram quatro metodologias no tocante a recuperar, contar e estudar a viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto: Meyer (1978) e sua modificação; Owen (1984); Yanko (1987) e Bailenger modificado por Ayres e Duncan (1996). Segundo os autores, a técnica de Meyer (1978) tem a vantagem de ser mais rápida, entretanto possui desvantagens, como a taxa de recuperação de 71% quando se usa hipoclorito e detergente e a impossibilidade da filtração sem o detergente.

Se a concentração de ovos no lodo for baixa, a taxa de recuperação de ovos de helmintos cai para 50%. Ainda, a concentração de hipoclorito sendo mais alta que a recomendada pode provocar o comprometimento da camada mamilonada de ovos de *Ascaris*, gerando confusão com os ovos de nematoides de vida livre e/ou de ácaros que costumam estar presentes no lodo.

A metodologia de Yanko (1987) modificada é reconhecida pela EPA (1992) e pela normatização francesa e tem taxa de recuperação de 90% (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 2000). A metodologia vem sendo aplicada em diversos trabalhos de pesquisa desenvolvidos no Brasil (BUENO, 2000; COMPARINI, 2001; CANOVA, 2012; SOUZA *et al.*, 2008; PEIXOTO *et al.*, 2005; FRANÇA, 2002; CHERUBINI, 2002; BARÉS, 2012).

Maurer (2011) avaliou o método de Yanko modificado através da análise de amostras de lodo contaminadas com um pool de ovos de *Ascaris lumbricoides*. Através dos resultados obtidos, o método mostrou-se eficiente para a recuperação de ovos em lodo de esgoto, mesmo em pequenas concentrações na amostra, e adequado no estudo da viabilidade através da observação do desenvolvimento de larva no interior dos ovos.

### 2.3.5 Investimentos no setor de saneamento

O setor de saneamento básico no país carece de investimentos por parte do poder público, quadro que se estende por décadas, como citado por Aisse (2000), onde era previsto para a década de 1980 investimentos na ordem de US\$ 1,4 bilhão anuais e as aplicações ficaram bem abaixo dessa meta. Em 1981, foram aplicados 1,2 bilhão e nos anos seguintes, investimentos abaixo de 50% da meta inicial (PHILIPPI, 1997 apud AISSE, 2000).

Segundo dados do SNIS (2013), a porcentagem da população brasileira atendida com coleta de esgoto sanitário, incluindo fossas sépticas, é de 56,3%, enquanto apenas 39% da população tem os esgotos tratados. A porcentagem de esgoto tratado em relação ao coletado é de 69,4%. A população rural apresenta índices bem inferiores à população urbana, correspondendo a apenas 5,3 % com coleta de esgotos.

O montante de investimentos previstos até 2033, apontados no Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (2014) (BRASIL,2014) para a universalização do saneamento no Brasil, é de R\$ 508,5 bilhões.

O panorama desfavorável do saneamento brasileiro implica que ocorram investimentos de ordem financeira em grande escala, tanto de materiais quanto de recursos humanos, para que os objetivos propostos para a universalização do saneamento sejam efetivamente atingidos. Segundo dados da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), no triênio 2007 – 2010 foram investidos 4 bilhões de reais pelo Governo Federal na área de saneamento, aplicados, sobretudo, na região Sudeste do país. Apesar desse aporte de recursos, somados com os investimentos das companhias de saneamento estaduais e municipais, cerca de 70 milhões de habitantes não foram beneficiados com qualquer melhoria (FUNASA, 2010).

De acordo com o Relatório Anual sobre Estatísticas Sanitárias da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2010), o gasto total em saúde per capita no Brasil foi de US\$<sup>(1)</sup> 734 em 2009. No mesmo relatório, os países que fizeram o maior investimento em saúde per capita foram Luxemburgo, com US\$ 8262, Estados Unidos da América, com US\$ 7960, e a Noruega, investindo US\$ 7533. Na região das Américas, a média dos investimentos em saúde foi de US\$ 3187.

---

Nota: Valor do dólar em 31/10/2015 = R\$ 3.863.

O contraste dos dados acima evidencia os baixos índices de investimentos no setor no Brasil, o que reflete diretamente na qualidade de vida e na saúde da população, desencadeando um efeito dominó de baixo rendimento escolar, falta no trabalho dos pais, gastos com saúde no governo, impactando as esferas de educação, saúde e economia.

### 2.3.6 Incidência de enteroparasitoses na população

Como relatado anteriormente, a concentração de patógenos no lodo está diretamente relacionada ao nível de contaminação da população, variando em função das condições socioeconômicas e sanitárias da mesma. Outros fatores estão relacionados principalmente à variabilidade da quantidade e diversidade de patógenos presentes no lodo, também incluem a natureza do esgoto e o tipo de tratamento efetuado, a população atendida, as condições sanitárias e a região geográfica (PIETRONAVE *et al.*, 2004; de Silva, 2003; USEPA, 2003; SIDHU *et al.*, 2001, 2003; SALEEM, 2001; THOMAZ-SOCCOL, 1998; FERNANDES *et al.*, 1996).

Em média, 5,4 bilhões de litros de esgoto, dos 8,4 bilhões gerados, são despejados no ambiente diariamente. Esse dado foi publicado pelo Instituto Trata Brasil (2007), com o apoio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, em um estudo compreendendo o período de 2002 a 2007.

A situação brasileira, quanto aos dados referentes à saúde da população são críticos. Os índices de mortalidade de doenças relacionadas diretamente à falta de saneamento básico e a pobreza no país diminuíram nas últimas décadas, entretanto os índices ainda são muito elevados. De acordo com a nota técnica do Instituto Oswaldo Cruz – IOC (2011), nos últimos 50 anos o perfil epidemiológico geral do Brasil mudou e o impacto das doenças infecciosas nas causas de mortes caiu de quase 50% na década de 30 para menos de 5% atualmente. Entretanto, o impacto em termos de morbidade e de incapacitação para o trabalho continua muito elevado, mesmo sem um panorama preciso e atualizado.

A estimativa é de que há 93 milhões de infectados por diversos agentes patogênicos, destes 41,7 milhões por *Ascaris*, 32,3 milhões por *Ancilostoma* e 18,9 milhões por *Trichuris* (IOC, 2011). As crianças em idade escolar infectadas por parasitoses intestinais são aproximadamente 15,4 milhões. A estimativa é com a prevalência média de 30%, ocorrendo variação de 40% a 70% de prevalência, dependendo da região (IOC, 2011).



A alta incidência de diarreia, responsável pela morte de 1,5 a 2,5 milhões de crianças com menos de 5 anos e causadora de 900 milhões de episódios de doenças por ano (OPAS, 2007) é consequência da falta de tratamento adequado dos esgotos. Em trabalhos de estudos epidemiológicos na população brasileira de municípios, em diferentes regiões geográficas (Tabela 2.8), observam-se altos índices de prevalência de parasitoses intestinais.

TABELA 2.8 – PREVALÊNCIA DE ENTEROPARASITOSE POR REGIÕES NO BRASIL

AUTORES	PERÍODO	Nº DE AMOSTRAS ANALISADAS (VÁLIDAS)	RESULTADOS POSITIVOS (%)	LOCALIZAÇÃO	PREVALÊNCIA (%)
Oliveira <i>et al.</i> (2001)				Parnaíba (PI)	<i>Ascaris lumbricoides</i> (64,9) <i>Ancilostomídeos</i> (16,5) <i>Entamoeba coli</i> (43,3) <i>Entamoeba histolytica</i> / <i>E. dispar</i> (23,4)
Silva e Santos (2001)	1995 – 2000	1.850	62,30	Belo Horizonte (MG)	<i>Ascaris lumbricoides</i> (17) <i>Giárdia lamblia</i> (19) <i>Entamoeba coli</i> (9)
Castro <i>et al.</i> (2004)	Mar. a nov/2003	421	19,71	Cachoeiro de Itapemirim (ES)	<i>Entamoeba coli</i> (22,9) <i>Endolimax nana</i> (9,6) <i>Giárdia lamblia</i> (34,9) <i>Entamoeba histolytica</i> (6,0) <i>Enterobius vermicularis</i> (4,8) <i>Ascaris lumbricoides</i> (4,8) <i>Trichuris trichiura</i> (2,4) <i>Strongyloides stercoralis</i> (2,4) <i>Ancilostomídeos</i> (1,2)
Segatin (2005)	out/2002–mar/2003	303	35,64	Cianorte (PR)	<i>Ancilostomídeos</i> (39,81) <i>Entamoeba histolytica</i> (31,48) <i>Giárdia lamblia</i> (17,59), <i>Enterobius vermiculares</i> (9,26) <i>Ascaris lumbricoides</i> (1,85)
Baptista <i>et al.</i> (2006)	Entre 1999 – 2004	2.157	11,54	Paraíba do Sul (RJ)	<i>Endolimax nana</i> (23,9) <i>Giárdia lamblia</i> (23,1) <i>Entamoeba coli</i> (19,5) <i>Strongyloides stercoralis</i> (8,8) <i>Ascaris lumbricoides</i> (5,9) <i>Ancilostomídeos</i> (4,8) <i>Entamoeba histolytica</i> (4,0) <i>Trichuris trichiura</i> (3,6)
Pittner <i>et al.</i> (2007)		203	60,59	Guarapuava (PR)	<i>Giárdia intestinalis</i> (50,73) <i>Ascaris lumbricoides</i> (15,27) <i>Entamoeba histolytica</i> (48,9) <i>Entamoeba coli</i> (40,8) <i>Ancilostomídeos</i> (37,9) <i>Giárdia lamblia</i> (32) <i>Schistosoma mansoni</i> (23,7) <i>Hymenolepis nana</i> (18,6) <i>Endolimax nana</i> (10,3) <i>Strongyloides stercoralis</i> (5,4) <i>Áscaris lumbricoides</i> (4,9) <i>Trichiuris trichiura</i> (0,5)
Assis (2010)		409	89,48	Região nordeste do Estado de Minas Gerais (Povo indígena Maxakali)	

continuação					
AUTORES	PERÍODO	Nº DE AMOSTRAS ANALISADAS (VÁLIDAS)	RESULTADOS POSITIVOS (%)	LOCALIZAÇÃO	PREVALÊNCIA (%)
Furtado e Melo (2011)	Set/2008 a set/2009	294	40,50	Parnaíba (PI)	<i>Entamoeba coli</i> (50,4) <i>Ascaris lumbricoides</i> (50,4) <i>Entamoeba histolytica</i> / <i>dispar</i> (19,3) <i>Giárdia lamblia</i> (11,8) <i>Ancilostomídeos</i> (2,5) <i>Enterobius vermicularis</i> (1,7) <i>Strongyloides stercoralis</i> (0,8) <i>Trichuris trichiura</i> (0,8) <i>Schistosoma mansoni</i> (0,8)
Seixas <i>et al.</i> (2011)	Ago-nov/2007	200	94	Salvador (BA)	<i>Ascaris lumbricoides</i> (25) <i>Trichuris trichiura</i> (10,5) <i>Enterobius vermicularis</i> (3), <i>Strongyloides stercoralis</i> (2,5) <i>Ancilostomídeos</i> (1,5) e <i>Schistosoma mansoni</i> (1,0) Protozoários <i>Endolimax nana</i> (53,5) <i>Entamoeba coli</i> (43,5), <i>Entamoeba histolytica</i> /E. <i>dispar</i> (21,5) e <i>Giárdia duodenalis</i>
Silva <i>et al.</i> (2011)	Jul a dez/2008	220	1	Tutóia (MA)	<i>A. lumbricoides</i> (53,6)
Lopes <i>et al.</i> (2012)	Out/2008 a out/2009	300	18	Marialva (PR)	<i>Giárdia lamblia</i> (68) <i>Entamoeba coli</i> (28) <i>Enterobius vermicularis</i> (2) <i>Ascaris lumbricoides</i> (2)

NOTA: (1) Não foram apresentados os valores de todos os parasitos

Em um estudo no Estado do Ceará (Município de Crato) Vasconcelos *et al.* (2011) fizeram a estimativa da frequência de parasitoses intestinais em 383 crianças, com idade de quatro a 12 anos, residentes em um mesmo bairro. Foi constatado por exames coproparasitológicos 233 resultados positivos, sendo que em 68 amostras os resultados apontaram poliparasitismo. As espécies de helmintos encontradas foram *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Ancylostoma duodenale*, *Enterobius vermicularis* e *Hymenolepis nana*, sendo as de maior prevalência a *Entamoeba sp*, com 30,3%, e *Ascaris lumbricoides*, com 21,9%. As duas espécies de protozoários com maior prevalência foram *Entamoeba sp.* e *Giárdia lamblia*. Foi constatada maior prevalência das parasitoses intestinais nas crianças residentes em domicílios com piores condições de abastecimento de água, condições de higiene e saneamento básico precárias e ainda onde as mães apresentavam menor nível de instrução educacional.

Em Marialva, no Paraná, observou-se uma incidência de parasitoses intestinais em 18% de crianças de um a 10 anos atendidas em um laboratório de análises clínicas. A maior prevalência nos casos analisados foi a do parasita *Giardia lamblia*, relacionada à ausência de hábitos regulares de higiene, como a lavagem das mãos antes das refeições e após o uso do sanitário, e à baixa renda familiar das crianças parasitadas, que gira de um a dois salários mínimos (LOPES *et al.*, 2012).

Alves *et al.* (2003) apontam para resultados diferentes de outros estudos desenvolvidos no país, como em São Raimundo Nonato, sudeste do Piauí, quanto a incidência de *Ascaris lumbricoides* e *Trichuris trichiura* no perfil da população. De setembro de 2000 a fevereiro de 2001, os autores analisaram 265 amostras fecais. Os resultados apresentados indicaram 57% de amostras positivas para enteroparasitos: *Entamoeba coli* (35,8%), *Endolimax nana* (13,6%), *Hymenolepis nana* (9,4%) e os ancilostomídeos (9,4%) foram os parasitos mais comuns.

A frequência das parasitoses intestinais está relacionada com as condições de saneamento, como pode ser observado amplamente na literatura. O Brasil foi apontado por Silva *et al.* (1997) como um dos países mais infectados por *Ascaris lumbricoides*. Daquele ano até o presente momento esse panorama mudou muito pouco, como pode ser observado nos dados da Tabela 2.8.

Saturnino *et al.* (2005) afirmam que as taxas de contaminação em geral na população adulta não são significativamente elevadas quando comparadas com às da população pediátrica. De fato, a população infantil é a mais vulnerável no que se refere às condições de higiene, e grande parte dos estudos epidemiológicos é realizado com esse perfil de população (CASTRO *et al.*, 2004; PITTNER *et al.*, 2007; SILVA e SANTOS, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2001; SEIXAS *et al.*, 2011; LOPES *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2011). Entretanto, Furtado e Melo (2011) alertam para altos índices de contaminação por organismos patogênicos na população idosa de Parnaíba. Em estudo com indivíduos com mais de 64 anos, a prevalência de enteroparasitose foi de 40,5%. Segundo os autores, os idosos parasitados por *Giardia lamblia* podem tê-la adquirido em seu próprio domicílio, sendo observado que em mais da metade deles havia algum tipo de praga, sobretudo insetos, podendo servir como vetores de agentes etiológicos.

Baptista *et al.* (2006) verificaram maior prevalência de enteroparasitoses em crianças de 0 a 10 anos e em pessoas acima de 50 anos.

Assis (2010) desenvolveu um trabalho de tese com o povo indígena Maxakali, situado na região nordeste de Minas Gerais, abrangendo todas as faixas etárias. A prevalência de enteroparasitoses na população foi de 89,94%, com taxa de poliparasitismo superior a 70%. As principais causas de mortalidade nessa população são as doenças infecciosas e parasitárias, seguidas das carências, que também têm seu agravamento determinado por doenças parasitárias.

Jimenez – Cisneros *et al.* (2000) relataram uma alta incidência de *Ascaris* (66 a 136 ovos/g ST) em lodos no México relacionada a prováveis incidências de infecções por helmintos.

A China é o país com os maiores índices de prevalência para a parasitose tanto em humanos quanto em suínos (XU *et al.*, 1995; DE SILVA *et al.*, 2003; O'LORCAIN e HOLLAND, 2000; PENG *et al.*, 2010). Isto ocorre devido as condições de saneamento precárias em países em desenvolvimento, comparadas aos países desenvolvidos (SMITH *et al.*, 2001; PALMER *et al.*, 2002).

Os índices mais elevados de infecção por *Ascaris* ocorrem também no sudeste da Ásia, regiões costeiras da África Ocidental e na África Central. Infecções por *Trichuris* são mais prevalentes na África central, sul da Índia e Sudeste Asiático (DE SILVA *et al.*, 2003).

## 2.4 HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

Durante a etapa de estabilização do lodo ocorre uma redução significativa de patógenos, entretanto há necessidade de uma etapa posterior de tratamento. O principal objetivo da higienização do lodo é a eliminação ou redução da densidade de microrganismos patogênicos para que ele seja destinado adequadamente para usos diversos.

Como já citado anteriormente, o uso agrícola de lodo de esgoto é normatizado no nível federal pela Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006). Na Resolução, encontram-se relacionados os processos necessários para a obtenção de lodos de esgoto classes A ou B, de acordo com a qualidade do lodo requerida. Esses critérios basearam-se na normativa da USEPA, *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, Code of Federal Regulations, Part 503 of the Clean Water Act* (USEPA, 1994, 2003). As classes do lodo são definidas essencialmente por suas qualidades microbiológicas (Tabela 2.9) para os parâmetros coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* spp. e vírus entéricos. O lodo classe B deixou de

ser permitido pela legislação brasileira para uso agrícola desde 2011, portanto apenas lodos enquadrados nos parâmetros definidos para a Classe A podem ter aplicação agrícola.

TABELA 2.9 – CLASSES DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO PELA PRESENÇA DE AGENTES PATOGÊNICOS.

	Classe	Coliformes Termotolerantes	Ovos viáveis de helmintos	<i>Salmonella</i>	Vírus
Resolução CONAMA 375/2006	A	<10 <sup>3</sup> NMP / g de ST	< 0,25 ovo / g de ST	ausência em 10 g de ST	< 0,25 UFP ou UFF / g de ST
EUA	A	<10 <sup>3</sup> NMP / g de ST	< 1 ovo / 4 g de ST	< 3 NMP / 4 g ST	< 1 UFP / 4 g ST
	B	<2 x10 <sup>6</sup> NMP / g de ST	-	-	-

FONTE: USEPA (2003); BRASIL (2006)

NOTA: NMP: número mais provável; UFP: unidade formadora de placa; UFF: unidade formadora de foco; ST: sólidos totais;

Para produção de biossólidos Classe A, o lodo deve ser submetido a Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP). Os PRAP definidos na Resolução são: compostagem, secagem térmica, tratamento térmico, irradiação com raios beta e pasteurização (Tabela 2.10).

TABELA 2.10 – PROCESSOS DE REDUÇÃO ADICIONAL DE PATÓGENOS (PRAP) SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 375/2006

Compostagem	Deve ser confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55 °C no mínimo) ou com revolvimento das leiras por 15 dias a 55 °C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira pelo menos por 5 dias ao longo do processo.
Secagem térmica direta ou indireta	A temperatura das partículas de lodo de esgoto ou produto derivado deve ser superior a 80 °C, ou a temperatura de bulbo úmido de gás, em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado no momento da descarga do secador, ser superior a 80 °C, para reduzir a umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10%.
Tratamento térmico	Aquecimento do lodo de esgoto ou produto derivado líquido a 180 °C, no mínimo, durante um período de 30 minutos.
Digestão aeróbia termofílica	Ocorre a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60 °C;
Processos de irradiação com raios beta	Com dosagens mínimas de 1 megarad a 20 °C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137.
Processos de pasteurização	Pela manutenção do lodo de esgoto ou produto derivado a uma temperatura mínima de 70 °C, por um período de pelo menos 30 minutos.

Fonte: BRASIL (2006)

Quanto às alternativas de tratamento de lodo de fossa séptica, a USEPA (1999) as classifica em dois grandes grupos: tratamento combinado (para as tecnologias de tratamento em conjunto com esgoto sanitário) e tratamento isolado ou independente para as demais opções de tratamento de lodo séptico. Da mesma forma que os demais tipos de lodo, o lodo séptico requer níveis de tratamento específicos que sejam compatíveis com as características das substâncias e materiais constituintes a serem removidos ou estabilizados.

#### 2.4.1 Principais fatores que interferem na inativação de patógenos

O mecanismo de redução de organismos patogênicos no lodo ocorre devido à combinação de fatores físicos, químicos e biológicos. Os mais importantes, de forma geral, são temperatura, teor de umidade, pH, radiação solar, oxigênio, tempo de exposição, competição com a flora nativa, antagonismo microbiano e dessecação. O grau de influência desses fatores pode variar entre os diferentes tipos de patógenos e também em relação ao tipo de tratamento a que foi submetido o lodo (WARD *et al.*, 1981; YEAGER e WARD, 1981; LUE-HING, ZENZ, KUCHENRITHER, 1992; THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1997; SIDHU *et al.*, 2001, 2003; USEPA, 2003; SMITH *et al.*, 2005; LANG e SMITH, 2008; SIDHU e TOZE, 2009; CHEN *et al.*, 2012). O mecanismo biológico inclui produção e efusão de substâncias químicas no ambiente que impedem o desenvolvimento de outros organismos (antibiose), predação por nematódeos e parasitas, ataque por lises de bactérias e morte natural (RIVERA *et al.*, 1995). A inativação envolve a destruição da integridade da célula microbiana de sua estrutura ou de seu mecanismo de replicação. O organismo se torna não viável quando os danos vão além de sua capacidade de regeneração e se os danos são parciais, é possível a regeneração (COMPARINI, 2002).

A exposição dos microrganismos a condições estressantes, após terem sido transferidos para condições de crescimento favoráveis, segundo PIKE (1983), pode também, resultar em perda adicional de viabilidade pelo fenômeno conhecido como “*substrate-accelerated death*”, de acordo com Postgate e Hunter (1963).

### 2.4.1.1 Temperatura

A temperatura é um dos dois mais importantes fatores de controle de decaimento bacteriano durante o tratamento de lodo de esgoto. Em altas temperaturas, acima de 45°C, ocorre a desnaturação de proteínas, causando a morte da maioria dos microrganismos (PIKE e CARRINGTON, 1986; HALL *et al.*, 1995). Condições de temperatura ambiente também são importantes. As taxas de morte do patógeno aumentam proporcionalmente com o aumento da temperatura (KANESHIRO e STERN, 1985; HALL *et al.*, 1995).

Bactérias entéricas podem potencialmente reproduzir e crescer em ambiente externo sob condições favoráveis de umidade e alimento e na ausência de predação e competição de outros microrganismos do meio ambiente. No entanto, elas não são bem adaptadas para a sobrevivência fora do hospedeiro e também são geralmente muito vulneráveis ao decaimento com o tempo. Os perfis de decaimento de tempo e temperatura ilustrados na FIGURA 2.12 são amplamente seguidos para definir as condições necessárias para a completa eliminação de patógenos nos lodos indicado pela “zona de segurança”. Esses dados sugerem que os parâmetros de funcionamento devem ser superiores a 7 minutos a 70°C, 30 minutos a 65°C; 2 horas a 60°C; 15 horas a 55°C ou 3 dias a 50°C.

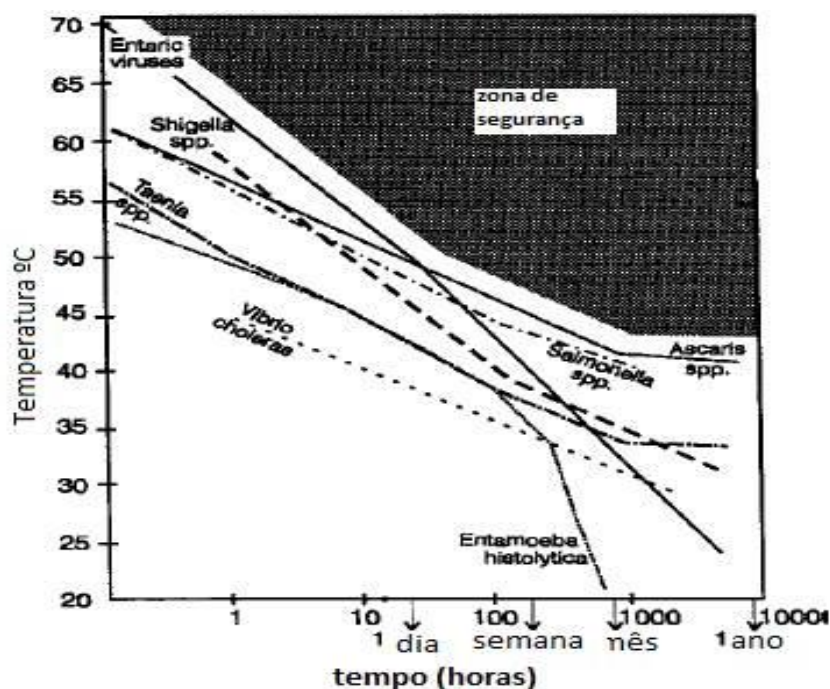


FIGURA 2.12 – TEMPO-TEMPERATURAS REQUERIDOS PARA INATIVAÇÃO DE PATÓGENOS  
 FONTE: Carrington (2001)

Processos de redução de microrganismos patogênicos por via térmica foram reportados por Ahmed e Sorensen (1995), Andreoli *et al.* (2002), Godinho (2003), Aitken *et al.* (2005), Barés *et al.* (2011), Fogolari (2011) e Possetti *et al.* (2012). Nesses processos, a combinação do tempo de permanência do lodo a uma dada temperatura, a qual está relacionada a diferentes difusividades térmicas do lodo para diferentes concentrações de sólidos, é o mecanismo de higienização (USEPA, 2003).

Barés *et al.* (2010), desenvolveram um reator termohidrolisador para promover a higienização de lodo de esgoto (misto de lodo primário e secundário de duas ETEs). O lodo foi submetido a combinações de temperatura de 50 °C, 60 °C e 70 °C e tempos de 30 min, 60 min e 90 min, sendo os resultados mais eficientes os obtidos em condições experimentais de 60 °C e 60 min de exposição, obtendo resultados que atenderam a Resolução CONAMA 375/2006 para a higienização de microrganismos patogênicos.

Godinho (2003) observou a inativação de ovos de *Ascaris lumbricoides* e mesmo a sua destruição quando o lodo foi submetido a tratamento térmico por 4 a 5 horas e temperaturas máximas próximas a 70 °C.

Bruce *et al.* (1990), estudaram a relação tempo-temperatura para a inativação de ovos de *Taenia saginata* e de *Ascaris* spp. para indicar a eficácia do processo de tratamento do lodo por pasteurização e termofílica. A temperaturas de 50 °C, ambos os helmintos tiveram redução  $\geq 90\%$  (1 log<sub>10</sub>) em aproximadamente 10 horas. Contudo, em temperatura mais baixa, 40°C, foi necessário um período de tempo maior para atingir essa eficiência: 3,5 dias para *Taenia* e 50 dias para *Ascaris*. Embora as relações acima sejam aplicadas de forma mais rigorosa a métodos de tratamento ativos envolvendo algum processo de aquecimento do lodo, temperatura e tempo de armazenamento também são críticos sob as condições ambientes.

A sobrevivência dos patógenos em temperatura ambiente é influenciada pelo tipo de patógeno e pelas condições ambientais. Em temperaturas mais frias, a digestão anaeróbia do lodo, está particularmente relacionada com o efeito inibidor de ácidos graxos produzidos durante a digestão e a ocorrência de outros microrganismos (CARRINGTON, 2001).

PIKE (1983), partindo dos resultados obtidos por Pedersen (1981), relatou que em temperaturas de 20 °C ou superiores pode ser esperada uma redução de



até 90% na contagem de bactérias, vírus e ovos de parasitas após 1 mês, 2 meses e 6 meses de estocagem, respectivamente. Em temperaturas menores, abaixo de 20 °C, esses períodos de tempo elevam-se para 6 meses, 8 meses e 3 anos.

#### 2.4.1.1 Teor de umidade

Yeager e Ward (1981) conduziram um estudo para determinar a influência do teor de umidade do lodo na sobrevivência e recrescimento de bactérias (*Klebsiella*, *Enterobacter*, *Proteus mirabilis*, *S. Typhimurium*, *E. coli* e *Streptococcus faecalis*) durante o armazenamento por 90 dias. As bactérias foram inoculadas em lodo líquido (5% ST) esterilizado a 21 °C por evaporação em laboratório. Em amostras com teor de sólidos totais acima e 85% não foi observado crescimento das bactérias, enquanto que para amostras com teor de ST menor do que 75% o crescimento foi rápido para *Streptococcus faecalis*, *Proteus mirabilis* e *Salmonella typhimurium*. Quando o teor de sólidos totais era próximo a 80%, o crescimento em poucas amostras de lodo ocorreu em velocidade mais lenta.

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que a perda da umidade afeta a sobrevivência das bactérias e que valores do teor de umidade críticos devem ser considerados no contexto dos requisitos de armazenamento e de secagem do lodo .para evitar crescimento e reduzir a sobrevivência de agentes patogênicos.

Felizatto *et al.* (2005), em pesquisa realizada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Samambaia – Companhia de saneamento do Distrito Federal (CAESB), avaliaram a secagem e higienização do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Brasília Sul (ETE-SUL), que utiliza o processo de lodos ativados.

Foram operadas células individuais em dois pátios, um com 50 x 8 metros, com uma área de 400 m<sup>2</sup>, e outro com 70 x 8 metros, formando uma área de 560 m<sup>2</sup> para a secagem do lodo. Para a disposição do lodo foi construído outro pátio com 5.850 m<sup>2</sup>. As operações realizadas foram: estocagem, secagem inicial, dispersão da torta em alturas controladas, secagem final e transporte até a área de estocagem do lodo seco. Nesse processo, foram controlados o tempo de detenção e as características microbiológicas.

Num período de 30 dias, houve redução média de 86% para 25% na umidade do lodo. Foi também monitorado o lodo da lagoa da ETE Samambaia, que apresentou após 60 dias 4% de umidade, resultante da maior facilidade do lodo digerido perder umidade. Quanto às características microbiológicas, foi obtido um lodo com concentração de coliformes termotolerantes inferior a  $10^3$  NMP/g ST e valores nulos de ovos viáveis de helmintos. Porém, os valores iniciais de ovos viáveis de helmintos por grama (ST) já estavam baixos, 2,66 e 1,63 em duas amostragens realizadas em diferentes períodos.

#### 2.4.1.2 Temperatura, umidade e tempo de exposição

A combinação de temperatura, umidade e tempo de exposição dos microrganismos presentes em lodo de esgoto é de fundamental importância para o entendimento dos mecanismos que afetam os patógenos. Maya *et al.* (2010), no México, avaliaram a eficiência de diferentes fatores combinados na inativação de helmintos presentes no lodo de esgoto. Para realizar o experimento, foram selecionados ovos de *Ascaris* sp., *Toxocara canis*, *Trichuris trichiura*, *H. nana* e *Taenia solium*, por já terem sido encontrados em lodo de diferentes países. Para avaliar os efeitos combinados de temperatura, umidade e tempo de exposição, foram inoculados 210 ovos desses helmintos (35 ovos de cada gênero) em amostras de lodo com umidades de 95, 90 e 80% (5, 10 e 20% ST), submetidas a temperaturas que variaram de 30 a 80 ° C e tempo de exposição de 30, 60, 120 e 180 minutos. Os autores observaram que nas condições de 70 ° C, umidade de 80% (20% ST) e tempo de exposição de 120 minutos, todos os ovos foram inativados. Nessas condições, a temperatura decompõe a membrana vitelina que protege o ovo, deixando-o vulnerável.

#### 2.4.1.3 Competição e predação

Diferentes tipos de microrganismos, incluindo agentes patogênicos e bactérias estão envolvidos com a digestão anaeróbia no tratamento de lodos. Estas bactérias são susceptíveis a competir umas com as outras pelo mesmo substrato (BITTON, 2011). Predação por protozoários anaeróbios também pode ser um dos fatores importantes que afetam o decaimento bacteriano durante a digestão anaeróbia mesófila. Portanto, a predação por protozoários e bactérias e a

concorrência entre diferentes microrganismos podem afetar o decaimento das bactérias durante o tratamento dos lodos. Isso pode ocorrer devido à concorrência entre diferentes microrganismos para o mesmo substrato (BITTON, 2011), esgotamento de nutrientes levando a inativação microbiana ou predação por protozoários.

O efeito da microflora nativa sobre o decaimento de *S. typhimurium* em biossólido compostado foi examinado por Sidhu *et al.* (2001, 2003). Amostras com idades entre 2 e 117 semanas foram coletadas e esterilizadas por autoclave e irradiação gama. Amostras esterilizadas e não esterilizadas foram inoculadas com *Salmonella typhimurium*, que tem uma taxa de crescimento maior em comparação com outras estirpes de *Salmonella* spp. e *E. coli*. Em amostras de biossólido compostado esterilizadas, *S. Typhimurium* cresceu rapidamente durante 30 h de incubação. Isso foi atribuído à eliminação da flora nativa por concorrência predatória pela alta temperatura ou pressão, liberando nutrientes a partir da biomassa. A taxa de crescimento foi menor nos biossólidos compostados esterilizados, armazenados no período 33 e 117 semanas, do que em materiais mais novos. Isso foi atribuído ao aumento da estabilidade do biossólido e consequente perda de disponibilidade de nutrientes durante o período de armazenagem. A taxa de decaimento de *S. Typhimurium* inoculada nos biossólidos não esterilizados foi significativamente maior do que nos esterilizados. Além disso, a taxa de decomposição de *S. Typhimurium* dos resíduos não-esterilizados compostados, durante duas semanas, foi maior do que as de biossólidos compostados, armazenados durante 117 semanas. Concluiu-se que, na ausência de flora nativa, o crescimento de *S. typhimurium* aumentou, enquanto na presença da flora nativa, o crescimento foi suprimido. A taxa de decaimento de *S. Typhimurium* no biossólido compostado diminuiu quando armazenado a longo prazo de por causa do declínio da flora nativa (SIDHU *et al.*, 2001).

#### 2.4.1.4 Potencial Hidrogeniônico

A adição de material alcalino ao lodo permite a desintegração de compostos orgânicos e a solubilização de células microbiológicas (AKERLUND, 2008). A caleação, ou estabilização química, implica adicionar ao lodo uma quantidade

suficiente de material alcalino (cal) para elevar o pH, reduzindo assim os microrganismos patogênicos e a emissão de odores (ver item 2.4.2.1).

#### 2.4.2 Processos de higienização do lodo

Estudos nacionais e internacionais têm sido conduzidos com o intuito de aperfeiçoar a técnica de higienização do lodo, buscando adaptar condições locais da área de estudo como também a viabilidade econômica. Estes compreendem processos térmicos (PITERINA, BARTLETT e PEMBROKE, 2010; RUBIO-LOZA e NOYOLA, 2010), compostagem, (LUE-HING, ZENZ, KUCHENRITZER, 1992; ANDREOLI, PEGORINI e FERNANDES, 2001; EPSTEIN, 2003; POURCHER *et al.*, 2005; CORRÊA *et al.*, 2007; COFIE *et al.*, 2009; ZHANG, 2011), caleação ou estabilização alcalina prolongada (CZECHOWSKI e MARCINKOWSKI, 2006; TAMANINI *et al.*, 2008; BITTENCOURT *et al.*, 2009), digestão anaeróbia mesofílica (MIKI, ALEM SOBRINHO e van HAANDEL, 2006), digestão aeróbia termofílica, secagem e armazenamento, armazenamento do lodo líquido, irradiação, entre outros.

##### 2.4.2.1 Tratamento Químico – Higienização alcalina

A caleação, também conhecida como estabilização química, implica adicionar ao lodo uma quantidade suficiente de material alcalino (cal) para elevar o pH, reduzindo assim os microrganismos patogênicos e a emissão de odores.

No processo de higienização adotado pelo Estado do Paraná – Brasil, empregado pela Companhia de Saneamento do Estado (Sanepar), o lodo de esgoto passa por estabilização alcalina prolongada (SANEPAR, 1997; ANDREOLI *et al.*, 2001; PEGORINI *et al.*, 2003; SERRAT *et al.*, 2009; BITTENCOURT *et al.*, 2009, 2011, 2013). Através do desenvolvimento de um programa interdisciplinar de pesquisas em tecnologias alternativas de higienização de lodo de esgoto, comprovou-se a eficiência do processo de estabilização alcalina prolongada para obtenção de lodo classe A, para as condições da região (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1997; ANDREOLI *et al.*, 2011). Esse processo é bastante disseminado principalmente em razão da sua eficiência na eliminação de patógenos, aliada a sua simplicidade operacional (ROCHA *et al.*, 2009).

Um dos processos de redução significativa de patógenos em lodo aceito pelo CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006) é a estabilização com cal, sendo realizada mediante adição em quantidades suficientes para obtenção de um lodo com elevação de pH até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas.

Na higienização, a cal é adicionada ao lodo já desaguado através de equipamentos especiais de mistura. É um processo de higienização que resulta da mistura de cal virgem (CaO) ou cal hidratada [Ca(OH)<sub>2</sub>] ao lodo, com variações de dosagens de 30% a 50% da sua massa seca (MÄDER NETTO *et al.*, 2003). Entretanto, a cal virgem é mais utilizada nesse processo devido a sua reação exotérmica com a água, podendo a mistura do lodo com a cal atingir uma temperatura acima de 50 °C, alta o suficiente para permitir a inativação dos patógenos. A utilização da cal virgem também possui a vantagem de não se adicionar água no lodo desaguado. O contato da cal com a água livre do lodo provoca uma reação exotérmica, ocasionando aumentos de temperatura próximos a 60 °C durante o choque alcalino (ANDREOLI, 1997; MIKI *et al.*, 2006), seguidos por elevação do pH a níveis acima de 12 e posterior atuação da amônia formada a partir do nitrogênio (ANDREOLI, 1997). A inativação de organismos patogênicos em processos de caleação é resultado dos efeitos da elevação do pH e temperatura, e da liberação de amônia (PECSON *et al.*, 2007).

Em função do grau de hidratação do lodo, é verificada a conveniência de aplicação da cal virgem ou cal hidratada em sua descontaminação. A cal hidratada é mais empregada no lodo líquido como “leite de cal”, o que facilita as reações entre os sólidos do lodo e a cal no tanque de mistura (PINTO, 2001).

Para a caleação os indicadores são: a quantidade e a qualidade da cal utilizada, o pH, o tempo e as condições de estocagem. Esses parâmetros foram apontados por GASPARD, WIART e SCHWARTZBROD (1994), FERNANDES *et al.* (1996b) e THOMAZ-SOCCOL *et al.* (1999) como os principais fatores associados à eliminação dos parasitos do lodo no processo de caleação. Os patamares de contaminação biológica exigidos na Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná - IAP (PARANÁ, 2009) são alcançados com a caleação a 50% do peso seco quando o processo eleva o pH do lodo a níveis acima de 12 e mantém-se próximo a este durante o período de cura mínimo de 30 dias, idealmente em pátio coberto (SANEPAR, 1997; ANDREOLI *et al.*, 2001; PEGORINI *et al.*, 2003; SERRAT *et al.*, 2009; BITTENCOURT *et al.*, 2009, 2011, 2013).

Adicionalmente, a cal minimiza odores gerados por lodos, promovendo uma maior estabilização dos processos biológicos. A caleação (CaO) é um processo de fácil aplicabilidade e bastante eficiente, gerando um produto alcalino de alta reatividade, em condições de corrigir a acidez do solo para fins de uso agrícola (MADER NETTO, ANDREOLI e CARNEIRO, 2003). Os óxidos e hidróxidos de Ca e Mg que constituem o lodo EAP possuem velocidade de reação mais rápida comparados aos carbonatos de Ca e Mg, constituintes do calcário, que normalmente é utilizado como corretivo de acidez de solos agrícolas (MOTTA e LIMA, 2006).

Os lodos obtidos ficam armazenados em pátios cobertos (FIGURA 2.13), nas ETEs, até sua destinação final.



FIGURA 2.13 – PÁTIOS COBERTOS PARA ARMAZENAGEM DO LODO ALCALINIZADO EM ETE DA SANEPAR  
Fonte: O autor

#### 2.4.2.2 Compostagem

A compostagem como tratamento higienizante é um processo comumente utilizado na higienização do lodo, devido principalmente aos baixos custos (ANDREOLI, PEGORINI e FERNANDES, 2001). Seu emprego é reportado em países como Estados Unidos, França (POURCHER *et al.*, 2005), China (ZHANG, 2011), e Eslováquia (SZABOVÁ *et al.*, 2010).

Esse processo pode ser definido como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, que se caracteriza pela produção de CO<sub>2</sub>, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (FERNANDES e SOUZA, 2000; KIEHL, 2002). Os componentes orgânicos biodegradáveis atravessam sucessivas etapas de transformação sob a ação de diversos grupos de microrganismos, resultando em um processo bioquímico

altamente complexo. Uma variante da compostagem é a vermicompostagem de resíduos orgânicos, que envolve a ação das minhocas sobre o resíduo orgânico (ANTONIOLLI *et al.*, 2009).

Os fatores mais importantes que interferem no processo da degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes, a umidade e a temperatura. A temperatura é importante tanto na velocidade do processo de biodegradação como em relação a eliminação de patógenos, sendo decorrente da atividade biológica e não um fator independente.

Em processos de alta taxa, como digestão anaeróbia e compostagem, a temperatura e o tempo são os fatores com maior influência na destruição de patógenos e a dessecação é importante no caso de secagem passiva do lodo por ar (SORBER e MOORE, 1987; HALL, 1995).

#### *2.4.2.3 Solarização e o emprego do revolvimento em processos de higienização do lodo*

A solarização baseia-se no aproveitamento da energia solar por meio de um filme plástico transparente, de espessura reduzida, que se coloca sobre a superfície do solo úmido, elevando a temperatura e promovendo a destruição dos agentes patogênicos e infestantes. Esse item foi incluído, pois as pesquisas para higienização do lodo empregaram longos períodos de manejo e estocagem do lodo.

Mecanismos de redução de microrganismos patogênicos em estufa agrícola foram observados por Comparini (2001), Ferreira (2001), Cherubini (2002), Comparini e Além Sobrinho (2003), Seginer e Bux (2006), Assunção e Henriques (2006), Lima (2009, 2010), Shanahan *et al.* (2010), Argel (2010), Barony (2011), Lozer (2012) e Dias (2012).

Ferreira (2001) analisou lodos anaeróbios dispostos em leitos de secagem por 28 dias, objetivando a redução na concentração de ovos de helmintos e a relação com a umidade. Foram aplicados seis tratamentos: no leito, coberto com estufa plástica, com e sem revolvimento do lodo; cobertura do leito com estufa plástica e aquecimento com biogás, com e sem revolvimento do lodo; solarização, com e sem revolvimento do lodo.

Na primeira descarga, os tratamentos utilizando solarização com e sem revolvimento foram os mais eficientes, apresentando redução da viabilidade de ovos de helmintos. Obteve-se 0,34 e 1,44 ovos/g ST após 28 dias de experimento, com

redução de 97,48% e 89,33% respectivamente. Na segunda descarga, nos tratamentos com estufa plástica e biogás, obteve-se 5,06 e 3,99 ovos viáveis g/ ST. Na terceira descarga, foram obtidos os melhores resultados nos tratamentos utilizando estufa associada ao biogás e solarização com e sem revolvimento, com 9,05; 9,33 e 7,91 ovos viáveis g/ST com uma redução de 84,51%, 84,03% e 86,46% respectivamente.

Nessa pesquisa, os resultados apontaram para melhor eficiência nos tratamentos sem revolvimento comparados aos com revolvimento. A redução da viabilidade dos ovos de helmintos foi significativa, assinalando a importância dos métodos na redução e a diminuição do tempo de permanência dos lodos nos leitos de secagem, entretanto esses valores ainda não atendem as normatizações nacionais.

Nos resultados obtidos por Espericueta e Gonzáles (2008) em estufa agrícola, a densidade de *Salmonella* spp. foi reduzida de  $1,5 \times 10^{13}$  NMP/g ST a  $1,9 \times 10^3$  NMP/g ST após 150 h (6 dias) e coliformes fecais de  $3,8 \times 10^6$  para 1,6 NMP/g ST, com remoção de 95% de umidade após 18 dias de experimento.

Lima (2010) buscou avaliar a secagem e a higienização em estufa agrícola de excesso de lodo ativado gerado em ETEs, em Vitória – ES. O estudo foi dividido em duas etapas, com a avaliação do lodo digerido aerobiamente, com e sem cal, e, numa segunda campanha, a do lodo não encaminhado ao digestor, com e sem cal, com três repetições em cada etapa, durante um período de 70 dias.

A melhor configuração para o uso da estufa agrícola na secagem e higienização do lodo, obtida pela autora, para obtenção de lodo Classe A (BRASIL, 2006) foi tempo de secagem aproximado de 36 dias; forma de disposição do lodo com altura igual a 10 cm; período de revolvimento de três vezes por semana; lodo sem adição de cal. Essa configuração possibilitou obter um bio-sólido com umidade final de cerca de 25%, resultando numa diminuição do volume bastante expressiva.

Contudo, nos tratamentos realizados pela autora não foram apontadas diferenças significativas entre os que passaram pelo processo de revolvimento e os que não foram revolvidos na higienização do lodo para os parâmetros ovos viáveis de helmintos, coliformes, vírus e *Salmonella*.

Em experimentos realizados em ETEs de Franca – SP, o lodo digerido e desidratado foi disposto em caixas cobertas com lona plástica transparente, em diferentes profundidades do material, com e sem revolvimento. Foi obtido o melhor



resultado em profundidade de 5 cm comparado ao de 10 cm, com níveis de remoção de até 100% de ovos viáveis de helmintos. A temperatura máxima atingida foi superior a 60°C, com permanência acima de 55°C por mais de 24 horas em testes corridos de 15 dias. Os tratamentos sem revolvimento foram os que apresentaram melhores resultados em relação ao decaimento de bactérias, helmintos e protozoários (BUENO, 2000).

A principal finalidade do processo de revolvimento de secagem natural do lodo de esgoto é facilitar a exposição das massas mais profundas do perfil do lodo com maior umidade, intensificando o efeito da incidência da luz e do calor pelos raios solares, por efeito estufa, biogás e aquecimento através da solarização (GONÇALVES *et al.*, 2001).

No Paraná, foi realizada uma pesquisa sobre o efeito do processo de revolvimento na higienização de lodo de UASB desaguado em leito de secagem, avaliando o comportamento de sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos (ANDREOLI *et al.*, 2011; BITTENCOURT *et al.*, 2012). Foram realizadas duas campanhas, no outono e na primavera. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas no tempo. As duas parcelas principais, outono e primavera, contendo cinco subparcelas: 0, 14, 28, 42 e 56 dias, com quatro repetições (leiras), num total de 40 unidades experimentais.

Os resultados obtidos pelo processo de revolvimento na higienização de lodo de esgoto demonstraram que houve um aumento dos sólidos totais do lodo de esgoto com a utilização do processo do revolvimento a cada 7 dias, nas medições de 0, 14 e 28 dias nas duas campanhas realizadas. Os autores também observaram forte correlação negativa entre o pH e os sólidos totais. Entretanto, não foi observada redução significativa na concentração inicial de ovos viáveis de helmintos, pois os lotes utilizados para a pesquisa apresentavam-se abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA 375/06.

Há poucos trabalhos específicos sobre a higienização de lodo por estocagem prolongada nas condições apresentadas nesta tese, sendo importante o conhecimento da eficiência do processo em diversas condições e das práticas operacionais empregadas como indicação da adequação ou não do processo e da redução esperada na concentração dos diversos organismos patogênicos e a redução de riscos na transmissão de doenças.

### 2.4.3 Higienização do lodo por armazenagem em longos períodos

#### 2.4.3.1 Aspectos gerais

O lodo de esgoto pode ser acumulado e armazenado por períodos de tempo curtos ou longos. Em relação à sua duração, o armazenamento é dividido em (USEPA, 1979):

- Armazenamento para equalização – até 3 – 4 dias;
- Armazenamento de curto prazo – até 3 – 4 semanas;
- Armazenamento de longo prazo – mais de 1 mês.

A estocagem prolongada de lodo não é considerada pela legislação vigente (CONAMA 375/2006) uma alternativa para a sua higienização. Entretanto, atua na redução da concentração de microrganismos patogênicos. Critérios de redução de produção de biossólido Classe A requerem limites de densidade específicos sobre agentes patogênicos e indicadores a serem cumpridos (item 2.1.1) através das alternativas de processamento. O armazenamento prolongado não está especificado dentro dessas opções, no entanto pode ser avaliado como um processo equivalente a um PFRPs – *Process to Further Reduce Pathogens* – Processo de Redução Adicional de Patógenos, tal como determinado na Resolução.

Na Europa, a normativa *Directive 86/278/EEC* define as diretrizes para tratamento de lodo. De acordo com a normativa, lodo tratado significa: *lodo que foi submetido a tratamentos químico, térmico ou biológico, armazenamento a longo prazo ou qualquer outro método adequado, de modo a reduzir significativamente seu poder de fermentação e os inconvenientes sanitários da sua utilização* (“*treated sludge as — sludge which has undergone biological, chemical or heat treatment, long-term storage or any other appropriate process so as significantly to reduce its fermentability and the health hazards resulting from its use*”). No entanto, não foram apontadas na diretriz condições específicas de processos e tecnologias de tratamento do lodo, uma vez que estas dependem de circunstâncias locais e são especificados nas orientações e legislação estipuladas em cada Estado-Membro. O método de estocagem prolongada como tratamento de lodo foi apontado por Metcalf & Eddy (1991) (apenas nesta edição), como apresentado anteriormente na FIGURA 2.4.

O foco desta tese é em estocagem a longo prazo, aproximando-se da conceituação de armazenamento livre ou estocagem não confinada (Tabela 2.11). A revisão da literatura, neste item, foi apoiada em processos de tratamentos de lodo de esgoto onde houve associação com processo de higienização por longos períodos, como por via térmica, em estufas agrícolas, incluíram-se as lagoas, para apoiar a discussão quanto aos principais fatores e mecanismos que influenciam o decaimento de patógenos no lodo.

TABELA 2.11 – MÉTODOS DE ESTOCAGEM DE LODO DE LONGO TERMO

Tipo de Estocagem a longo termo	Comentários
<b>Armazenamento dentro dos processos de tratamento de águas residuárias</b>	
Tanque Imhoff	Armazenamento no interior do reator. Sistemas levemente carregados podem armazenar por mais de 6 meses. A maioria dos sistemas exigirá a remoção de sólidos a cada 4 – 6 semanas.*
Tanques Sépticos	Lodos de tanques sépticos muitas vezes são esgotados após vários anos.*
Lagoas de Estabilização	Lagoas aeradas operam como reatores de aeração.** Outras podem armazenar sólidos por muitos anos.
<b>Armazenamento em processos de tratamento de lodo</b>	
Compostagem	De 3 – 4 semanas.
Leitos de Secagem	De 3 – 4 semanas.
<b>Instalações previstas principalmente para armazenamento de lodo líquido (fluido)</b>	
Lagoas Facultativas	Remoção mecânica de lodo a curto prazo torna o armazenamento muito caro. Operação livre de odor requer digestão anaeróbia. Necessárias medidas para mitigação de odor quando a área de superfície ultrapassa 30 – 40 acres***
Lodo líquido (fluido) e Lagoas Anaeróbias	Remoção mecânica de lodo a curto prazo torna o armazenamento muito caro. Operação livre de odor requer digestão anaeróbia. Necessárias medidas para mitigação de odor quando a área de superfície ultrapassa 30 – 40 acres*** Normalmente operado sem restrição de carga orgânica. Risco de odor potencial elevado. As facilidades oferecidas principalmente para armazenamento de lodos desidratados
<b>Instalações previstas principalmente para armazenamento de lodo desaguado</b>	
Secagem de lodo em lagoas	Sedimentação inicial realizada em duas fases de concentração. Sólidos não processados normalmente, removíveis de 1 a 2 meses. Minimização de odor exige sólidos digeridos anaerobicamente. Pode ter odor se estabilizado aerobicamente. Camadas superficiais começam a se decompor anaerobicamente quando reumedecidas.
Armazenamento livre ( <i>Unconfined stockpiles</i> )	O Lodo estocado deve estar estabilizado (aeróbio ou anaeróbio) e desaguado por secagem ao ar ou mecanizado (maior 30 – 40% ST). O lodo é usualmente coberto em climas úmidos.

Fonte: USEPA (1979)

Nota: \* Na NBR 7229/93 o armazenamento no tanque séptico varia de 1 a 5 anos; \*\* Entendido como mistura completa; \*\*\* 1 Acre = 4.047 m<sup>2</sup>

Na literatura internacional, ao se referir ao termo *long-term storage*, como método de tratamento, foram encontrados trabalhos referentes à estocagem prolongada de lodo em lagoas (EPA, 1997; PAULSRUD e NYBRUKET, 2007; LeBLANC, 2008; SMITH, 2008). Esse termo, bem como *Storage of Biosolids*, também é usado no estabelecimento de critérios e procedimentos da estocagem do lodo após passar por processo de digestão e desinfecção, aguardando sua destinação final.

A estocagem prolongada (*long-term storage*) como método de tratamento de lodo foi realizada em pequenas percentagens em países como Bélgica (<1%), Dinamarca, Polônia, Estônia, Lituânia, Hungria (MILLIEU, 2001; KELESSIDIS e STASINAKIS, 2012) e na Grécia, Itália e Áustria (2,4%) como estocagem temporária (KELESSIDIS e STASINAKIS, 2012).

No relatório publicado pela Comissão Européia (EC, 2001), o armazenamento de lodo de esgoto tem dois propósitos essenciais, o de regular os fluxos de lodo para a agricultura e o de homogeneizar a sua composição. Segundo esse relatório, o armazenamento de longo prazo (*long-term storage*) de lodo de esgoto tem uma propriedade de desinfecção, reduzindo a quantidade de vírus e bactérias nos lodos.

A estocagem prolongada do lodo, já desaguado, é considerada método de higienização na Noruega (PAULSRUD e NYBRUKET, 2007; LeBLANC, 2008) e na Austrália (EPA, 1997), para lodo digerido anaerobicamente, seco com um mínimo de 10% de ST, e o período mínimo de estocagem em lagoas por três anos. Segundo Smith (2008), no Estado de Vitória – Austrália, esse método de tratamento produz um lodo Classe T1 (Classe A), que pode ser aplicado na terra sem restrições relativas à qualidade microbiológica. A principal abordagem para o tratamento de lodo em Victoria (digestão anaeróbia seguida por secagem e armazenamento em lagoas) é consideravelmente mais rigorosa do que o estabelecido pelo DoE (1989) como processo para a remoção eficaz de patógenos por digestão anaeróbia mesofílica. Além disso, as orientações estipulam um período mínimo de armazenagem de três anos após a digestão dos lodos para uso irrestrito, o que diminui consideravelmente o valor agrônômico do biossólido, e há uma relutância para a reciclagem de uma qualidade microbiológica menor.

O armazenamento a longo prazo pode diminuir o valor agrícola do biossólido (ROUCH *et al.*, 2011). Smith (2008) aponta como um problema importante, pelo

efeito de armazenamento e ar de secagem de lodos por longos períodos, a redução no nitrogênio amoniacal por volatilização e a mineralização lenta de N orgânico, reduzindo o seu valor agrônômico e de fertilizantes. O autor destaca a importância da necessidade de mais pesquisas para determinar o período de armazenamento ideal, garantindo a segurança quanto ao risco de patógenos e a manutenção da qualidade do produto final como valor fertilizante.

Segundo Feachem *et al.* (1983), geralmente o tratamento eficaz para a remoção de ovos de helmintos requer lagoas de estabilização ou digestão termofílica, embora o armazenamento prolongado possa inativar os ovos de muitas espécies.

#### 2.4.3.2 Estocagem por períodos superiores a 6 meses

Foi desenvolvido um estudo no Marrocos (Amahmid, Asmama e Bouhoum, 2001), com o objetivo de determinar a ocorrência e a remoção de cistos de protozoários e ovos de helmintos em águas residuais municipais por um piloto de estabilização de resíduos em lagoas em condições de clima árido em Marrakech. Ao longo de um período de 24 meses, foram analisadas amostras do efluente líquido e do sedimento das lagoas para enumeração de cistos de *Giardia* e *Ascaris*. A concentração inicial de ovos no sedimento era de 29,6 ovos/g de peso seco e depois de 24 meses, ele estava livre de cistos de *Giardia* e *Ascaris*. Feachem *et al.* (1983) reportam a estocagem do lodo em lagoas por 6 semanas a temperaturas maiores do que 20 °C como esperadas na destruição da viabilidade de cistos de *Giardia*.

Berggren, Albihn e Johansson (2004) estudaram a redução de *Salmonella entérica*, *Enterococcus* spp., coliformes e *Ascaris suum* por estocagem do lodo num período de 214 dias em laboratório. Foram monitorados 6 amostras com 1 kg de lodo (29% ST) inoculados com número conhecido de ovos viáveis de *Ascaris summ*, em temperaturas de 7, 13 e 21°C, dois a dois.

A cinética da redução de *Salmonella typhimurium* diferiu, em diferentes temperaturas, ao longo do tempo. O decaimento inicial (56 dias) era dependente da temperatura, enquanto outros fatores influenciaram a sobrevivência em fases posteriores do armazenamento. Temperatura e taxa de redução nos coliformes mostraram uma redução inconsistente. A temperatura de 21 ° C durante 214 dias de armazenamento não foi suficiente para inativar os ovos de *Ascaris suum*.

Embora as relações acima sejam aplicadas de forma mais rigorosa a métodos de tratamento ativos envolvendo algum processo de aquecimento do lodo, temperatura e tempo de armazenamento também são críticas sob as condições ambientes.

O'Donnell (1984) mediu as taxas de destruição de ovos de helmintos em lodos sem desague armazenados em lagoas. Ovos de *Ascaris* spp., *Toxocara* spp., *Trichuris* spp., *Taenia*, *Hymenolepis* spp. foram tratados com lodos por processos aeróbios e anaeróbios. As amostras de lodo foram inoculadas com ovos e armazenadas a 4 ou 25 ° C ou em um recipiente inserido no solo, simulando as condições da lagoa. Foi observado o decaimento do número de ovos com o tempo. A viabilidade e a infectividade de ovos recuperados foram relacionadas com a temperatura de armazenamento. Após 25 meses de armazenamento, a 4°C, ovos de *Toxocara* e de *Ascaris* permaneceram viáveis, enquanto ovos no lodo armazenados de 10 a 16 meses, a 25°C, ficaram inviáveis.

Ainda que a temperatura de armazenamento tenha sido o fator mais importante na destruição e na viabilidade dos ovos, o processo de digestão dos lodoso armazenamento no solo ou no lodo e o pH também tiveram efeitos em menor grau. O estudo aponta o tratamento de lodo em lagoas por longos períodos como um método eficaz para a eliminação de ovos do parasita, particularmente em locais geográficos mais quentes.

Comparini (2001) e Além Sobrinho e Comparini (2003) investigaram no biossólido o decaimento da concentração das bactérias *E. coli* e *Salmonella* spp, ovos de helmintos e de bacteriófagos F- específicos, utilizados como indicadores da presença de vírus entéricos, por dois processos: a estocagem em valas por longos períodos e a secagem em estufa agrícola.

O biossólido ficou estocado por 357 dias em duas valas (3 m de largura, 6 m de comprimento e 1 m de profundidade), com um volume aproximado de 18 m<sup>3</sup>. A redução da concentração das bactérias *E. coli* foi de 2,16 log, obtendo-se concentrações finais da ordem de 2x10<sup>3</sup> NMP/g em base seca. A redução do conteúdo de bacteriófagos F específicos foi de 1,92 log, atingindo-se uma concentração final de 1,75x10<sup>2</sup> UFP/g em base seca. Quanto à redução na concentração de ovos de helmintos, os autores obtiveram resultados para níveis inferiores a 0,25 ovos viáveis/g ST. A estocagem do biossólido por 357 dias mostrou-se efetiva na destruição desses organismos, entretanto não houve a

inativação de todos os microrganismos considerados como indicadores da sanidade do lodo.

Kafer (2015) encontrou em lodo oriundo de tanques sépticos concentrações de *Escherichia coli* de  $2,4 \times 10^6$  NMP/g. Após passar por processo de higienização por *wetlands* piloto, um plantado com *Cyperus papyrus* e outro com *Typha domingensis*, a densidade de *Escherichia coli* foi de  $3,0 \times 10^4$  NMP/g e *Salmonella* spp. de  $1,6 \times 10^3$ . Após 11 meses em repouso no sistema, a densidade de *Escherichia coli* foi reduzida para valores  $< 10^2$  nos dois sistemas e não foi detectada presença de *Salmonella*, bem como de ovos viáveis de helmintos. Não foi realizada a contagem de ovos no início do experimento. O pH do lodo de alimentação era próximo a 7 e foi reduzido para valores próximos a 6 durante todo o monitoramento da segunda fase (11 meses), indicando que o período de repouso e as reações bioquímicas que ocorrem durante este, principalmente a oxidação de frações de matéria orgânica remanescente, proporcionaram uma pequena acidificação do lodo. De acordo com Stefanakis, Akratos e Tsihrintzis (2014), valores de pH tendem a estar ligeiramente ácidos (6,5 – 7,0) no lodo acumulado. Stefanakis *et al.*, (2011) relatam que durante a fase de repouso, os valores de pH baixaram de 8,7 do lodo de alimentação para abaixo de 6,5 no lodo acumulado. Os autores atribuíram esse comportamento à produção de ácido na decomposição contínua da matéria orgânica restante.

#### 2.4.3.3 Estocagem por períodos inferiores a 6 meses

A cinética de destruição de agentes patogênicos no lodo de esgoto digerido anaerobicamente e desidratado (33–52% ST) e os efeitos da temperatura e do período de armazenagem foram quantificados, por Ahmed e Sorensen (1995), num período de armazenamento de 62 dias, a temperaturas de 5, 22, 38 e 49,5 °C. O lodo foi inoculado com *Salmonella typhimurium*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*, F2 bacteriófago, poliovírus e ovos de *Ascaris* nas temperaturas mencionadas sob ambas as condições aeróbicas e anaeróbicas por 62 dias. A destruição de patógenos no lodo armazenado foi maior com o aumento em todas as temperaturas monitoradas, com um maior valor de (k) para as maiores temperaturas. Não houve diferença significativa entre a destruição de agentes patogênicos sob as condições aeróbia ou anaeróbia em todas as temperaturas

estudadas. Os autores concluíram que o armazenamento a longo prazo de lodos desaguados pode ser eficaz na redução do risco de infecção com o uso de lodo no solo. O armazenamento foi mais eficaz na redução do número de organismos entéricos quando o período de armazenamento incluiu uma temporada de verão, em temperatura ambiente média acima de 20°C.

Pike (1983) analisou os impactos do armazenamento a longo prazo de lodo de esgoto na sobrevivência dos patógenos. Durante o armazenamento do lodo, a viabilidade e a infectividade da maioria dos patógenos, exceto aqueles que têm fases de repouso de longa duração e têm maior resistência, como *Ascaris*, entrou em declínio. No entanto, o autor aponta a importância de limites rígidos para reciclagem agrícola de lodo.

Jepsen *et al.* (1997), observaram o decaimento de *Salmonella* em 5m<sup>3</sup> de lodos estabilizados, aeróbios e anaeróbios, armazenados em containers, por 6 meses. Em um mês, com variação de temperatura entre 20 a 30 °C no lodo, não foi detectada a presença da bactéria, contudo, em temperaturas mais baixas, de 0 a 10 °C no lodo, 6 meses não foram suficientes para a destruição da bactéria. Em estudos apontados por Feachem *et al.* (1983), o tempo máximo de sobrevivência para *Salmonella* spp. em climas quentes e ensolarados foi de cerca de 2 meses, com maior parte eliminada em duas semanas. Sendo a sobrevivência em solos por vários meses dependente da temperatura, luz solar, pH e conteúdo de matéria orgânica.

#### 2.4.3.4 Recrescimento de Microrganismos

Dependendo das condições de estocagem do biossólido, de sua aplicação no solo e de fatores físico-químicos e biológicos do solo, muitos microrganismos, principalmente *Salmonella*, podem retomar seu crescimento (SIDHU e TOZE, 2009).

Gibbs *et al.* (1995) investigaram a sobrevivência e recrescimento de microrganismos em lodo de esgoto e em solo adubado com biossólido. Foram monitorados coliformes fecais, estreptococos fecais, *Salmonella* spp. e cistos de *Giardia* em lodos armazenados em pilhas de 1m de altura por 53 semanas. Após 34 semanas de armazenamento não foram encontrados coliformes fecais e *Salmonella* spp., contudo, foi observado o recrescimento das bactérias após 52 e 53 semanas de estocagem do lodo. As concentrações de coliformes foram (NMP/g peso úmido)



$1,2 \times 10^4$  e  $1,2 \times 10^6$  e de *Salmonella* (NMP/g peso úmido) 2,2 e 0,04. Também foi observado o recrescimento de *Streptococcus* fecais. A concentração de cistos de *Giardia* manteve-se estável durante todo o período de armazenamento. Os autores atribuem essa condição às chuvas que ocorreram na semana de amostragem, a umidade do lodo variou entre 69,8 e 87,9%.

Estudos sobre o potencial de recrescimento de *Salmonella* spp. e coliformes fecais em biossólido foram conduzidos por Zaleski *et al.* (2005) em laboratório. A concentração de *Salmonella* spp. diminuiu em 2 semanas, mas na 5ª semana ocorreu crescimento insignificante de *Salmonella* spp. no lodo no solo alterado. Os resultados dos estudos mostram que o recrescimento de organismos patogênicos em biossólido desidratado durante o período de armazenamento poderia ocorrer depois da chuva devido ao aumento dos níveis de umidade.

Gantzer *et al.* (2001) desenvolveram um estudo analisando o impacto de diversos tratamentos para desinfecção de lodo de esgoto que atendessem os padrões da França para lodo “sanitizado”, usando como indicadores *Salmonella* e ovos de nematódeos. A definição de lodo “sanitizado” é um lodo tratado em que o nível de detecção de *Salmonella* é  $< 8$  NMP/10 g ST, enterovirus,  $< 3$  NMP/10 ST e ovos viáveis de nematódeos,  $< 3$  ovos/g ST.

Foram realizados 4 tratamentos biológicos: estabilização mesofílica, digestão mesofílica anaeróbia, digestão termofílica aeróbica, compostagem; 3 químicos – calagem com cal virgem a 25% e cal hidratada a 26% e 62%; e 1 térmico (secagem a 108 °C); e 2 por estocagem prolongada.

Os tratamentos por estocagem por 240 dias consistiram em um lodo desaguado tratado por digestão anaeróbia e o outro lodo tratado com cal hidratada a 62%. Os tratamentos foram realizados sob cobertura, protegidos da chuva, mas expostos ao ambiente. Houve um decréscimo de ovos viáveis de 6 para 3 ovos/10g ST e no tratamento com 62% de cal hidratada de 0 a 180 dias, a redução foi de 13 para  $< 1$  ovo/10g ST, atingindo os valores dos padrões da legislação francesa.

No lodo desidratado, em até seis meses de estocagem, foi observado o decaimento de *E. coli*, entretanto observou-se um recrescimento no período de seis a oito meses (correspondente ao verão) em valores similares aos iniciais. A *Salmonella* spp. estava ausente ao final do processo.

Nos tratamentos por calagem, a utilização de cal virgem a 25% e cal hidratada a 26% não proporcionaram a higienização do lodo em tempo menor que 1

dia, sendo esse o tratamento mais ineficiente; a caleação em concentração de 62% atingiu os valores no limite da legislação francesa.

Os processos que utilizaram temperaturas mesofílicas (até 37 °C) não foram eficientes para eliminar ovos viáveis de nematódeos, porém, nos tratamentos onde as temperaturas alcançaram valores acima de 48 °C, conduzidos sob condições termofílicas, não foram detectados ovos viáveis de nematódeos. Temperaturas superiores a 36 °C inviabilizam ovos de *Ascaris* sp. (CARRINGTON, 1980) e de *Taenia* sp. (PIKE *et al.*, 1983) na digestão anaeróbia, enquanto, segundo os autores, na digestão anaeróbia mesofílica apenas 50% dos ovos tornam-se inviáveis.

A *Salmonella* spp. foi eliminada nos tratamentos com 25% de cal virgem, 62% de cal hidratada, compostagem e tratamento térmico, sendo ausente ao final do processo. Sua presença foi detectada nos tratamentos com 26% de cal hidratada e nos tratamentos de digestão mesofílica anaeróbia e digestão termofílica aeróbia nas campanhas de outono e inverno.

## 2.5 USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO

Após o lodo de esgoto passar por processos de higienização, atendendo aos requisitos de qualidade para lodo Classe A ou B, quanto ao uso agrícola, e aspectos legais do país onde foi gerado, ele está apto para ser utilizado na agricultura, sendo comumente denominado biossólido. Nesse item, foi apresentado um panorama do uso agrícola no Estado do Paraná, onde foi realizada esta pesquisa, no Brasil e no mundo.

### 2.5.1 Lodo de esgoto no solo

Lodos de esgoto enquadrados como Classe A podem ser utilizados em qualquer cultura, a não ser em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, culturas inundadas e as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo. Demais restrições quanto ao tempo de aplicação estão contidas na Resolução 375/2006 (BRASIL, 2006).

O tempo de sobrevivência de organismos patogênicos em solos, que receberam lodo de esgoto, foram relatados em diversos trabalhos (GIBBS *et al.*, 1995). Esses organismos podem apresentar tempos de sobrevivência relativamente elevados no solo (Tabela 2.12). De acordo com Gerba e Smith (2005) para as

bactérias é de 2 a 12 meses, 3 a 6 meses para vírus, 2 a 10 dias para protozoários e 2 a 7 anos para ovos de helmintos.

De forma geral, poucas bactérias intestinais sobrevivem no solo, entretanto os parasitas encistados (helmintos e protozoários) e seus ovos são mais resistentes, o que os torna importantes indicadores de sanidade. Conhecer o tempo de sobrevivência de microrganismos entéricos em solos que sofreram aplicação de lodo de esgoto é fundamental, de modo que seja definido o período de reentrância de pessoas ou animais na área, bem como épocas de colheitas.

TABELA 2.12 – TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DOS GRUPOS DE PATÓGENOS NO SOLO E NA PLANTA

PATÓGENO	SOLO		PLANTA	
	Max. absoluto	Max. comum	Max. Absoluto	Max. Comum
Bactérias	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	1 ano	3 meses	2 meses	1 mês
Cistos de Protozoários	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

Fonte: USEPA (2003)

Os principais fatores que afetam a permanência desses microrganismos no solo são (USEPA (2003):

- Umidade – Solos úmidos e períodos de grande precipitação aumentam o tempo de sobrevivência, inclusive solos sob irrigação;
- Capacidade de retenção de água – O tempo de sobrevivência é menor em solos arenosos do que naqueles capazes de reter a umidade ;
- Temperatura – O tempo de sobrevivência é maior em baixas temperaturas como, por exemplo, no inverno;
- pH – O tempo de sobrevivência é menor em solos ácidos (pH 3 a 5) do que naqueles neutros ou alcalinos;
- Luz solar – Onde há incidência maior de luz solar, o tempo de sobrevivência é menor, provavelmente pela dessecação, raios ultravioleta e altas temperaturas;
- Matéria orgânica – Dependendo do estágio de decomposição da matéria orgânica, ela pode aumentar o tempo de sobrevivência pela capacidade de retenção de água ou criar meio anaeróbio quando em fermentação, favorecendo alguns microrganismos patogênicos;
- Fauna e flora natural do solo – A competição e a predação com os microrganismos endêmicos do solo diminuem o tempo de sobrevivência dos agentes patogênicos.

A aplicação de lodo de esgoto na agricultura tem como efeito uma maior disponibilidade de nutrientes (CHENG *et al.*, 2007) no solo, implicando em um melhor desenvolvimento das plantas e em uma produtividade maior, pois possui os nutrientes essenciais e benéficos para os vegetais, além de promover o aumento da população microbiana do solo, acarretando alterações nas suas propriedades bioquímicas (MELO e MARQUES, 2000). Segundo Cheng *et al.* (2007), o nitrogênio (N) seguido do fósforo (P) são considerados essenciais para o desenvolvimento e crescimento das plantas, fazendo parte da estrutura de um grande número de moléculas importantes para as células, como as proteínas, o ácido nucléico e a clorofila. O potássio (K) é o terceiro elemento mais importante para o desenvolvimento e produtividade das plantas. A importância do potássio é, entre outras, a manutenção do estado da água nas plantas (CHENG *et al.*, 2007). O potássio, presente em quantidades reduzidas no biossólido sob a forma inorgânica, está prontamente disponível para ser assimilado pelas plantas. Porém, em razão do seu baixo teor, não é descartada a possibilidade de ser realizada suplementação desse elemento por fertilizantes químicos quando aplicado biossólido como insumo agrícola (ANDREOLI, PEGORINI e FERNANDES, 2001).

#### 2.5.2 Panorama brasileiro e do Estado do Paraná do uso agrícola do lodo de esgoto

No Brasil há pouca informação sobre a geração e destinação do lodo de esgoto. Segundo Machado *et al.* (2004), as operadoras de ETEs não produzem as informações referentes ao lodo de esgoto de forma sistemática. Em 2004, a produção estimada de lodo no Brasil, segundo Soares (2004), variava de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano, referente apenas a 30% da população urbana, que tinha seu esgoto devidamente coletado e tratado. Em 2013, segundo relato de Sampaio (2013), a quantidade de lodo de esgoto destinada para agricultura em toneladas ST/ ano foi de 21.000, por Estado foi de aproximadamente 8.500 em São Paulo, 8.000 no Paraná, 950 no Rio Grande do Sul e no Distrito Federal foi 3.800 toneladas. A maior parte do lodo gerado no Brasil ainda tem como destino final aterros sanitários.

No Paraná, a reciclagem agrícola do lodo de esgoto afirmou-se como a opção preferencial de disposição do lodo produzido. Os lotes de lodo de esgoto distribuídos aos agricultores da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) passam previamente por um processo de desinfecção/estabilização alcalina através da

adição de cal virgem na dosagem de 50 g M.S. e então são estocados por um período mínimo de 30 dias, garantindo a segurança sanitária do resíduo (PEGORINI *et al.*, 2003).

Com a aprovação do “*Plano de Gerenciamento e Implementação da Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto Gerado pelas ETEs operadas pelo USOECT*” (Unidade de Serviços e Operação de Esgoto da Região Metropolitana de Curitiba) no ano 2000, pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), teve início a produção de lodo caleado na ETE Belém, visando a distribuição para os agricultores (PEGORINI *et al.*, 2003). Os serviços de gerenciamento e operacionalização envolvem a execução de:

- Higienização do lodo, incluindo a aquisição da cal;
- movimentação interna do lodo na ETE;
- avaliação da qualidade do lodo: valor agrônomo, sanidade, estabilidade e metais pesados;
- identificação e seleção das áreas de aplicação seguindo as diretrizes definidas por Souza *et al.* (1996) e aprovadas pelo IAP;
- recomendação agrônoma de uso: taxa de aplicação e complementação mineral, espécie a ser cultivada, procedimentos para aplicação, uso de equipamento de proteção individual;
- controle de liberação do lodo: quantidade definida pela recomendação agrônoma;
- carregamento e transporte do lodo da ETE às áreas de aplicação;
- assistência técnica aos produtores beneficiados.

No Estado do Paraná, Bittencourt (2014) fez a estimativa de geração de lodo bruto em ST baseada nas informações da Companhia de Saneamento do Estado do Paraná (Sanepar) para o ano de 2013 (FIGURA 2.14). A partir do resultado da estimativa anual de geração de lodo foram selecionadas Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGLs) de diferentes portes no Paraná, que representassem cada uma das faixas de frequência de caracterização estabelecidas pela Resolução CONAMA 375/06, a não ser a faixa de frequência acima de 15,000 t/ano, por não se enquadrar na produção. Foram simulados custos utilizando os parâmetros exigidos para lodo equivalente a Classe A, pelas normas americana, mexicana, europeia (opção de moderadas mudanças) e brasileira. Foram estimados também o custo evitado pelo agricultor ao utilizar o lodo de esgoto.

Segundo o levantamento realizado por Bittencourt (2014), o custo de caracterização é mais elevado no caso do atendimento da norma brasileira (CONAMA 375/06), gerado a partir dos dados do Estado do Paraná para todos os portes de UGLs. Os valores das análises de compostos orgânicos, de vírus entéricos e de ovos viáveis de helmintos foram os que contribuíram para esse resultado, aliado aos custos mais elevados em unidades de menor porte pela pequena quantidade de lodo por análise de caracterização. O custo evitado pelo agricultor ao utilizar o lodo de esgoto pode representar de 7% a 99% do custo de análises para caracterização de lodo, sendo que quanto menor o porte da UGL maior essa relação.

Das 8.011 t de ST geradas no ano de 2013 na Região Metropolitana de Curitiba, 4.297 t/ano foram geradas na ETE Belém, com sistema de tratamento de lodos ativados de aeração prolongada. Na FIGURA 2.14 está representada a quantidade anual destinada ao uso agrícola do lodo de esgoto produzido na RMC, no período de 2007 a 2013.

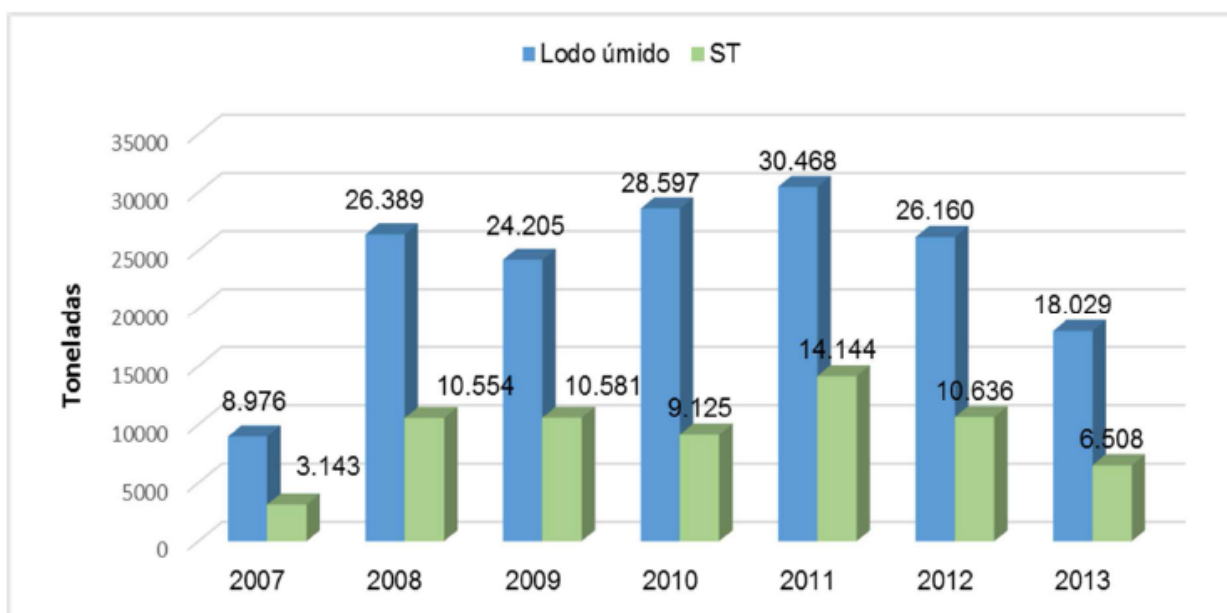


FIGURA 2.14 – QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO, PRODUZIDO NA RMC, APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013.  
FONTE: Bittencourt (2014)

Conforme exigência da Resolução 375/06 do CONAMA, um dos aspectos relacionados ao uso do lodo de esgoto alcalinizado na agricultura é a necessidade de obtenção de curvas de elevação do pH para cada tipo de solo no qual será aplicado o lodo de esgoto higienizado.

### 2.5.3 Panorama do uso agrícola do lodo de esgoto em alguns países

Nos Estados Unidos, são produzidos aproximadamente oito milhões de toneladas secas de lodo de esgoto a cada ano (GODWIN, 2012), enquanto no Canadá são geradas cerca de 660 mil t/ano em base seca (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2012). Na Austrália, em 2013 a geração foi de aproximadamente 330.000 toneladas (AUSTRALIA & NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP, 2013).

A pouca atenção dada a questão da gestão do lodo é refletida em legislações individuais que frequentemente adotam normas e diretrizes de países mais industrializados sem se atentar para as adaptações às condições locais. Com base na importância da agricultura para a América Latina, tanto quanto no grau de erosão do solo dessa região, a aplicação do lodo visando o uso agrícola e a recuperação de áreas degradadas é considerada a melhor alternativa (SPINOSA, 2007).

Em países africanos, há pouca ênfase à gestão do lodos, pois os esforços ainda estão concentrados no acesso aos sistemas de saneamento básico, uma vez que as áreas rurais e muitas cidades ainda não são servidas por sistemas de esgotos. As legislações dos países industrializados são adotadas sem adaptações para as condições locais. O gerenciamento do lodo geralmente se limita ao armazenamento local (SPINOSA, 2007). A África do Sul é a exceção, onde mais de 900 estações de tratamento de esgoto estão operando sob suporte de um corpo legal específico, contudo apresentam uma lacuna no acesso às informações das práticas e regulamentações existentes sobre lodos (SPINOSA, 2007).

Na Europa, o uso agrícola de lodo tem se intensificado nos últimos anos (FYTILI e ZABANIOTOU, 2008). Do lodo produzido, 37% é utilizado na agricultura, 11% incinerado, 40% depositado em aterros e 12% usado em outras áreas como silvicultura e recuperação de áreas degradadas. Antes de 1998, a principal disposição do lodo de esgoto era a oceânica, que foi proibida a partir daquele ano.

Na Suécia, cerca de 1 milhão de toneladas de lodo são gerados anualmente no tratamento de esgoto municipal, contudo apesar dos seus benefícios, como os nutrientes, sua manipulação e processamento continuam a ser um grande desafio (ARTHURSON, 2008).

No Reino Unido, de acordo com estimativas de 2008, 67% das 1,5 milhões de toneladas de lodo produzidas anualmente eram aplicadas na agricultura (LeBLANC *et al.*, 2008).

Em 2008 foi publicado o documento “Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource”, pela United Nations Human Settlements Programme (UNHABITAT), (LEBLANC, MATTHEWS e RICHARD, 2008). Esse documento baseou-se nos trabalhos apresentados na Conference Wastewater Biosolids Sustainability: Technical, Managerial, and Public Synergy, da *International Water Association* (IWA), realizada em junho de 2007 no Canadá. Na Tabela 2.13 encontram-se as estimativas da produção de lodo no ano de 2008 publicadas no trabalho, entretanto sem a estimativa de uso agrícola. Na Tabela 2.14 está a produção de lodo e a quantidade usada na agricultura na União Europeia (EU) (MILIEU; WRc; RPA, 2010).

A UE aplica na agricultura 39% das cerca de 10,1 milhões t /ano de lodo de esgoto (ST) (Tabela 2.14). Na UE-15 (União Europeia - antigos estados membros), 73% do total produzido vem da Alemanha, Reino Unido, Espanha, França e Itália (KELESSIDIS; STASINAKIS, 2012). Na FIGURA 2.15 são apresentados os dados de reciclagem agrícola de lodo, baseados nos dados das duas tabelas citadas.



TABELA 2.13 – ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE LODO NO ANO DE 2008 EM DIVERSOS PAÍSES, E PRODUÇÃO E USO LODO DE ESGOTO POR PAÍS E UNIÃO EUROPEIA

País	ANO	Produção de lodo (t ST)	Uso agrícola	Autor
Brasil	2004	220.000	10% *	Soares (2004) Sampaio (2013) LeBLANC <i>et al.</i> (2008)
	2008	372.000	-	
Canadá	2012	660.000	43%	Canadian council of ministers of the environment (2012)
	2008	550.000		
Austrália	2013	330.000	59%	Australia & New Zealand biosolids partnership (2013)
Nova Zelândia	2013	74.000	10%	Australia & New Zealand biosolids partnership (2013)
Japão	2009	1,79 milhão ST	11%	Matsumiya (2012) LeBLANC <i>et al.</i> (2008)
	2008	2 milhões	-	
China	2009	5 milhões	45%	LeBLANC <i>et al.</i> (2008) Chen <i>et al.</i> (2012)
	2008	2,9 milhões	-	
Estados Unidos	2012	8 milhões	45%**	Godwin (2012) LeBLANC <i>et al.</i> (2008)
	2008	6,5 milhões		
Noruega	2008	86.500	-	LeBLANC <i>et al.</i> (2008)
Turquia	2008	580.000	-	
Finlândia	2008	150.000	-	
Itália	2008	1 milhão	-	
Holanda	2008	1,5 milhão	-	
Portugal	2008	236.700	-	
Reino Unido	2008	1,5 milhão	67%	
República Checa	2008	200.000	-	
Hungria		120.000	-	
Slovaquia		5.500	-	
Suécia		1 milhão		
União Europeia -	2012	9,9 milhões (ST)	37%	Evans (2012)

Fonte: O autor

NOTA: \* Somatório de dados fornecidos pelos autores

\*\*Incluindo produção florestal e recuperação de áreas degradadas

TABELA 2.14 – PRODUÇÃO DE LODO E QUANTIDADE USADA NA AGRICULTURA NA UNIÃO EUROPEIA

Estado Membro	Ano (*)	Produção de lodo (t ST)	Uso na Agricultura	
			(t ST)	(%)
Áustria (a)	2006	.	38.400	16
<b>Bélgica</b>				
região de Bruxelas	2006	2.967	0	0
região flamenga	2006	101.913	0	0
Região da Valónia (b)	2007	31.380	10.927	35
Dinamarca	2002	140.021	82.029	59
Finlândia (c)	2005	147.000	4.200	3
França	2007	1.125.000	787.500	70
Alemanha (d)	2007	2.056.486	592.552	29
Grécia	2006	125.977	56.4	<1
Irlanda	2003	42.147	26.743	63
Itália	2006	1.070.080	189.554	18
Luxemburgo (e)	2005	8.200	3.780	46
Holanda	2003	550.000	34	<1
Portugal	2006	401.000	225.300	56
Espanha	2006	1.064.972	687.037	65
Suécia	2006	210.000	30.000	14
Reino Unido	2006	1.544.919	1.050.526	68
Subtotal da UE 15		<b>8.874862</b>	<b>3.728638</b>	<b>42</b>
Bulgária	2006	29.987	11.856	40
Chipre	2006	7.586	3.116	41
República Tcheca (f)	2007	231.000	59.983	26
Estónia (g)	2005	26.800	3.316	12
Hungria	2006	128.380	32.813	26
Látvia	2006	23.942	8.936	37
Lituânia (h)	2007	76.450	24.716	32
Malta (i)		nd		
Polónia	2006	523.674	88.501	17
Romênia	2006	137.145	0	0
Eslováquia	2006	54.780	33.630	62
Eslovênia	2007	21.139	18	<1
Subtotal da UE 12		<b>1.260,883</b>	<b>266.885</b>	<b>21</b>
Total		<b>10.135.745</b>	<b>3.995.523</b>	<b>39</b>

FONTE: Compilado de Milieu, WRc, RPA, (2010)

NOTA: \*Dados coletados em anos diferentes

Segundo (MILIEU; WRc; RPA, 2010), a estimativa da produção de lodo de esgoto na UE-27 deve atingir cerca de 13,0 milhões de toneladas (sólidos totais) em 2020, sendo 44% deste total aplicado no solo.

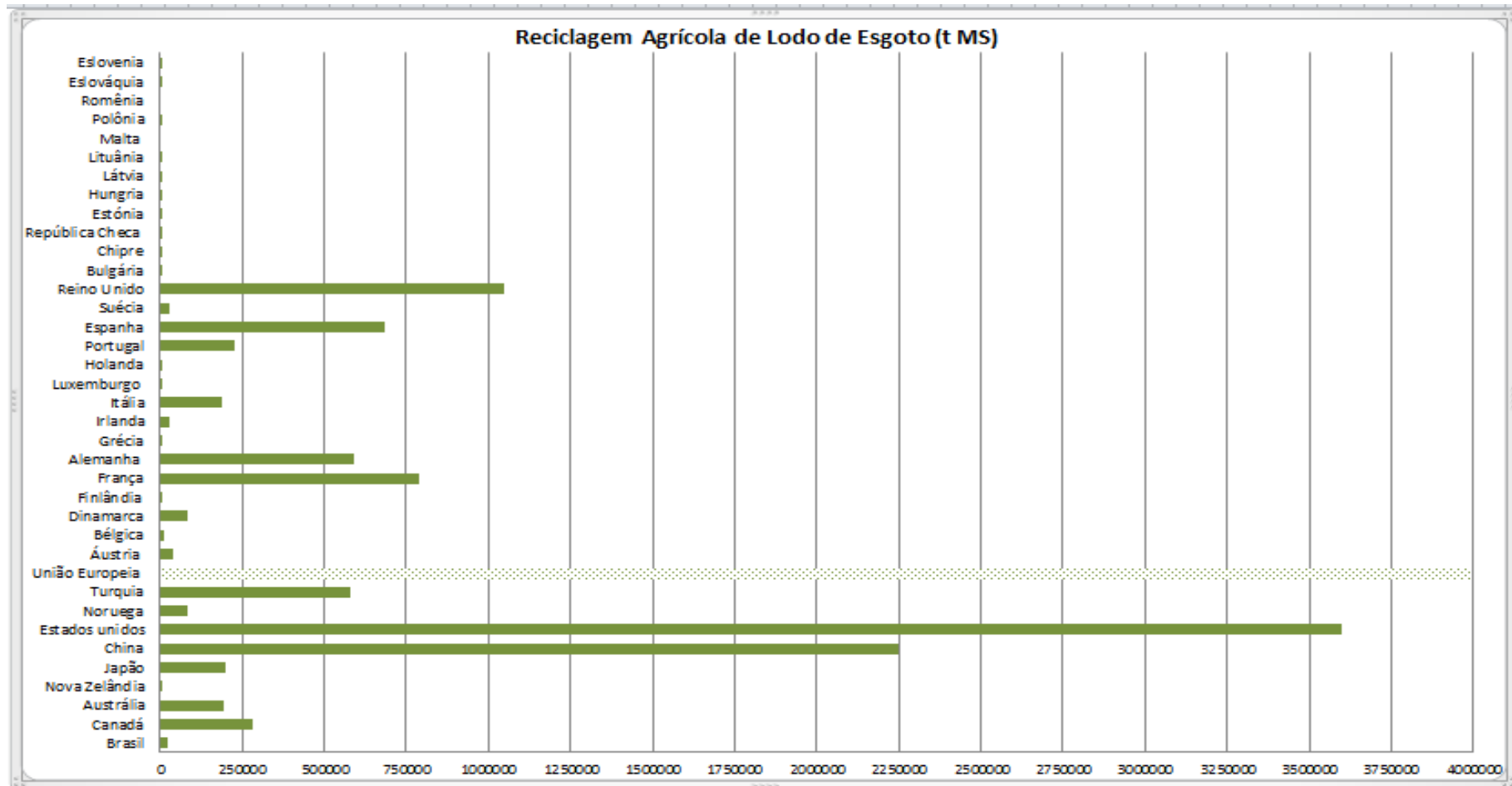


FIGURA 2.15 – USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA EM DIVERSOS PAÍSES E UNIÃO EUROPEIA

FONTE: O autor - baseada na TABELA 2.14 para os países da UE e TABELA 2.13 para os demais países

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos experimentos de estocagem prolongada como método de higienização do lodo de esgoto e avaliação da redução de patógenos de lodo de reator UASB desaguado em leitos de secagem, além da caracterização e contagem de ovos de helmintos e análise da viabilidade dos ovos. As metodologias adotadas para o desenvolvimento desta pesquisa foram separadas de acordo com os objetivos específicos propostos e são apresentadas a seguir.

#### 3.1 EXPERIMENTO DE ESTOCAGEM PROLONGADA

##### 3.1.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa de estocagem prolongada de lodo foi realizada em dois municípios do Estado do Paraná, em Fazenda Rio Grande – Região Metropolitana de Curitiba/Leste do Estado, e Apucarana, Norte do Estado. As Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), onde foram montados os aparatos experimentais, são ETE Fazenda Rio Grande (ETE FRG) e ETE Barra Nova, situadas nos municípios de Fazenda Rio Grande e Apucarana, respectivamente (

Figura 3.1).

O município de Fazenda Rio Grande, localizado no primeiro planalto paranaense, pertence à Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu (BOGNOLA *et al.*, 2003). O clima é Cfb (subtropical úmido mesotérmico) e a temperatura média anual é de 22°C nos meses mais quentes e de 18°C nos mais frios; a pluviosidade média anual é de 1410,1 mm (IPPUC, 2013).

Em Apucarana, o clima, segundo a classificação climática de Köppen, é subtropical temperado (Cfa), caracterizando-se por temperaturas médias nos meses mais frios inferiores a 18 °C (mesotérmico) e no mês mais quente, acima de 22 °C. Caracterizado por verões quentes, geadas poucos frequentes, sem estação seca definida.

Por meio do balanço hídrico climático e da tipologia climática, o clima do município de Apucarana foi classificado como sendo do tipo úmido mesotérmico, com pouco déficit de água ao longo do ano. As temperaturas predominantes oscilam em torno de 21 °C na primavera e outono, 23 °C no verão e 17 °C no inverno. (GRAÇA *et al.*, 2011).

As principais diferenças entre os dois municípios dizem respeito à localização geográfica e à condição climatológica, sendo o que determinou a escolha dos locais para desenvolvimento dos pilotos.

São apresentadas na

Figura 3.1 (Temperatura média anual) e FIGURA 3.2 (Precipitação média anual) as *Cartas Climáticas do Paraná* elaboradas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), com dados diários do período compreendido entre os anos de 1972 e 1998. Como pode ser observado nas figuras, a temperatura média anual histórica do município de Apucarana é de 20 – 21 °C e a precipitação anual é de 1600 a 1800 mm, enquanto em Fazenda Rio Grande a temperatura média anual é de 17 - 18 °C e a precipitação de 1600 a 1800 mm.

## Cartas Climáticas do Paraná

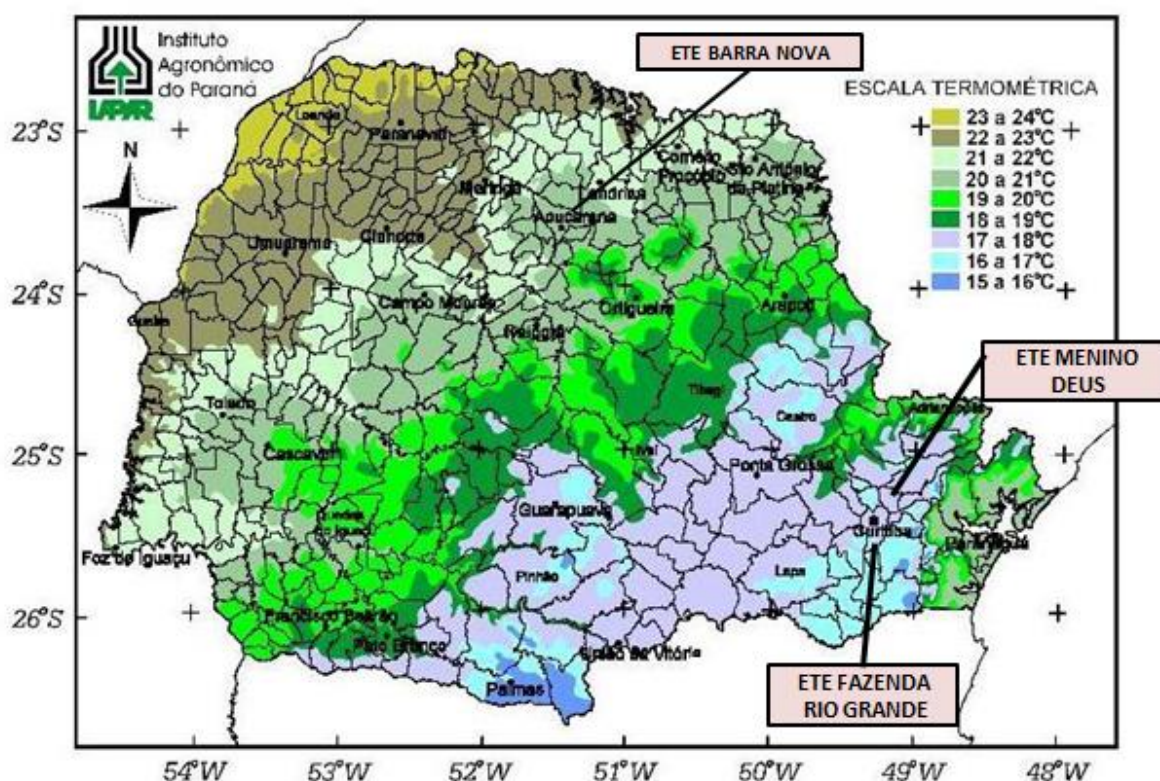


FIGURA 3.1 – MAPA DO ESTADO DO PARANÁ – CARTA CLIMÁTICA – TEMPERATURA MÉDIA ANUAL: LOCALIZAÇÃO DA ETE FAZENDA RIO GRANDE/RMC – PR, ETE MENINO DEUS/RMC E ETE BARRA NOVA/APUCARANA - PR  
Fonte: adaptado de IAPAR (2015).

## Cartas Climáticas do Paraná

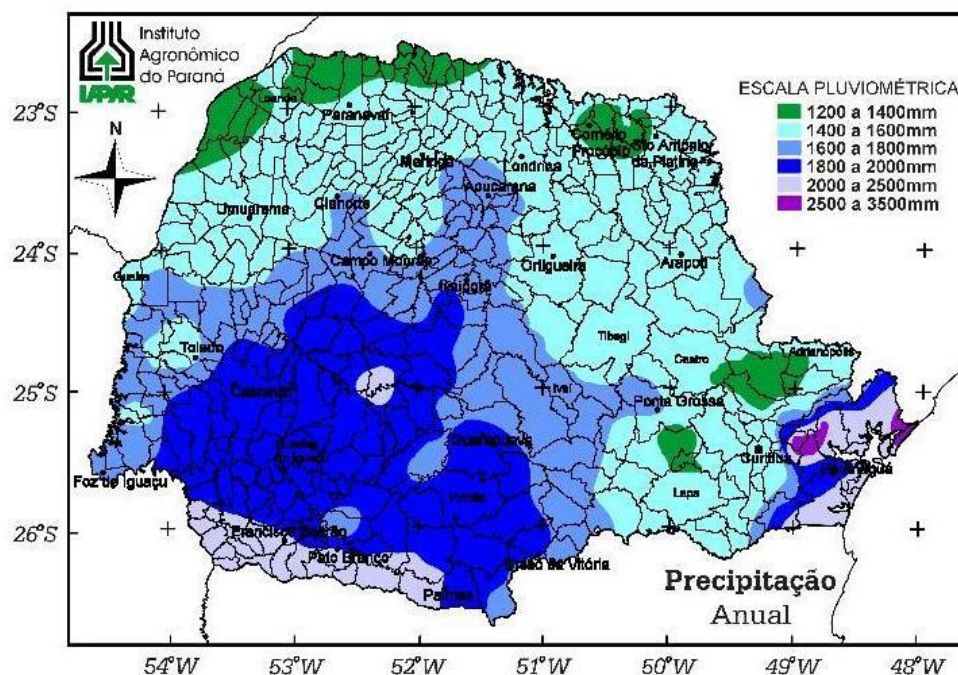


FIGURA 3.2 – MAPA DO ESTADO DO PARANÁ – CARTA CLIMÁTICA – PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL  
FONTE: IAPAR (2015)

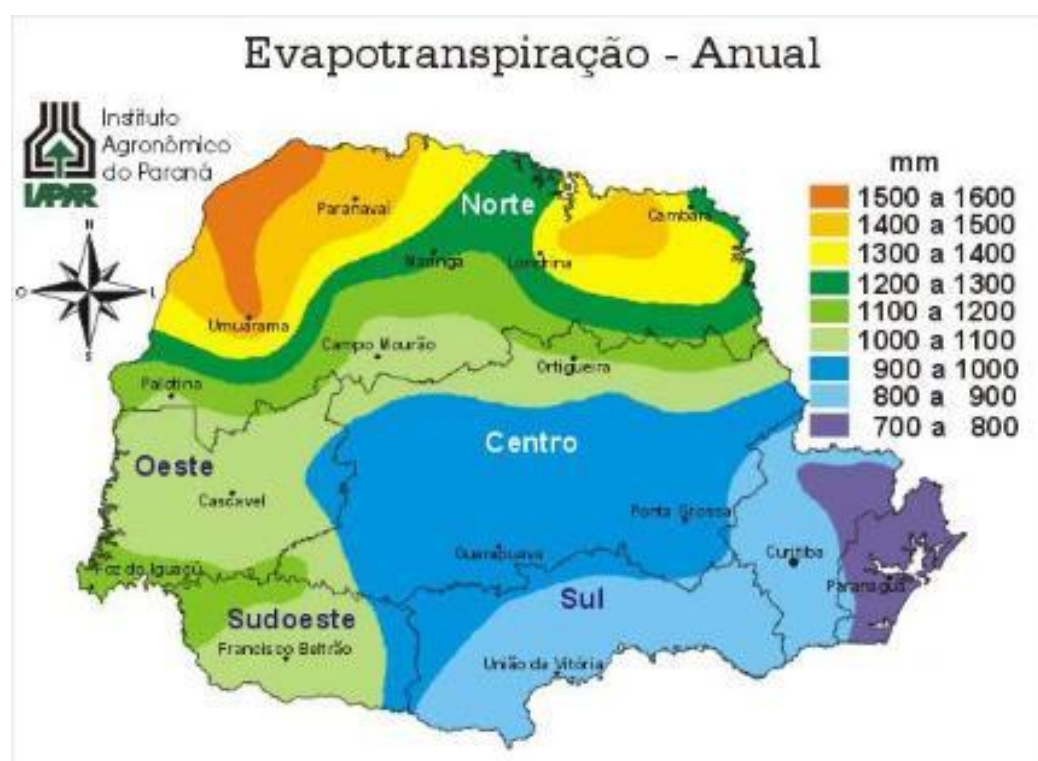


FIGURA 3.3 – MAPA DO ESTADO DO PARANÁ – CARTA CLIMÁTICA – EVAPOTRANSPIRAÇÃO ANUAL

FONTE: IAPAR (2015).

### 3.1.2 Tipos de lodo

A pesquisa foi realizada com lodos gerados no tratamento de esgotos por tratamento anaeróbio:

- Lodo de reator UASB desaguado em leitos de secagem: UASB – Leito ( $L_{UASB1}$ );
- lodo de reator UASB desaguado em centrífuga: UASB-Centrífuga ( $L_{UASB2}$ );
- lodo proveniente de fossas e tanques sépticos: lodo séptico.

A diferença entre o teor de umidade dos lodos de UASB, desaguados por diferentes processos, processo natural e mecanizado, foi o que norteou a separação destes nos tratamentos, considerados para este fim como tipos distintos. Os lodos utilizados no experimento, de origem estritamente doméstica, são provenientes da Região Metropolitana de Curitiba, porém de áreas distintas (TABELA 3.1).

TABELA 3.1 – ORIGEM DO LODO UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS

	ORIGEM DO LODO	LOCAL	CONDICIONAMENTO	DESTINO DO LODO
Tanque Séptico	Fazenda Rio Grande, Araucária e Almirante Tamandaré (RMC)		Desaguamento em centrífuga da ETE Fazenda Rio Grande	ETE Fazenda Rio Grande ETE Barra Nova
Anaeróbio de UASB	ETE Cachoeira	Município de Araucária na RMC	Desaguamento em leito de secagem da ETE	ETE Fazenda Rio Grande ETE Barra Nova
	ETE Fazenda Rio Grande	Município de FRG na RMC	Desaguamento em centrífuga da ETE	ETE Fazenda Rio Grande

NOTA: RMC – Região Metropolitana de Curitiba; ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

Foi feita uma tentativa de deságue do lodo de tanques sépticos em leitos de secagem, procedimento que foi realizado no final de 2011. Entretanto, ocorreu o processo de colmatação nos leitos, sendo observada a formação de uma camada de gordura e optou-se a seguir por realizar o desague em centrífuga.

O novo lote de lodo foi coletado exclusivamente em residenciais da Região Metropolitana de Curitiba e de escolas públicas do município de Almirante Tamandaré, onde foi confirmada previamente uma alta concentração de ovos viáveis

de helmintos através de análises realizadas no Laboratório de Parasitologia da UFPR.

A FIGURA 3.4 ilustra as etapas de obtenção do lodo séptico. O lodo foi transportado por caminhões limpa-fossa com capacidade média de  $8\text{m}^3$ , que descarregaram o resíduo no adensador na ETE FRG, antes de serem desaguados mecanicamente em centrífuga tipo *decanter*. O equipamento foi utilizado exclusivamente para o lodo séptico no período de desaguamento deste lodo.

No processo de centrifugação, para o lodo de reator UASB e para o lodo de tanque séptico, foi usado um polímero de poliácridamida, aproximadamente 1kg por tonelada de lodo desaguado. Antes de ir para a centrífuga, o lodo de tanque séptico passou por um adensador, onde foi adaptada uma tela ara reter pedras e materiais grosseiros, que poderiam vir a prejudicar o funcionamento do equipamento.



FIGURA 3.4 – OBTENÇÃO DO LODO DE FOSSA SÉPTICA: A) DESCARREGAMENTO DO LODO NA ETE POR CAMINHÃO LIMPA-FOSSA; (B) ADENSADOR POR GRAVIDADE COM TELA; C) TORTA DO LODO CENTRIFUGADO



O lodo de reator UASB desaguado em leito de secagem foi gerado na ETE Cachoeira, município de Araucária (RMC). O deságue ocorreu em um ciclo aproximado de 30 dias. A ETE Cachoeira possui gradeamento manual, desarenador ciclônico e dois reatores. O transporte do lodo gerado na ETE Cachoeira para a ETE Fazenda Rio Grande (ETE FRG) foi realizado por meio de caminhões, em caçambas apropriadas. A estação de tratamento de esgoto Cachoeira fica localizada no município de Araucária, RMC e possui capacidade de vazão projetada de 140 l/s, tratando o esgoto de característica doméstica oriundo da sub-bacia Cachoeira.

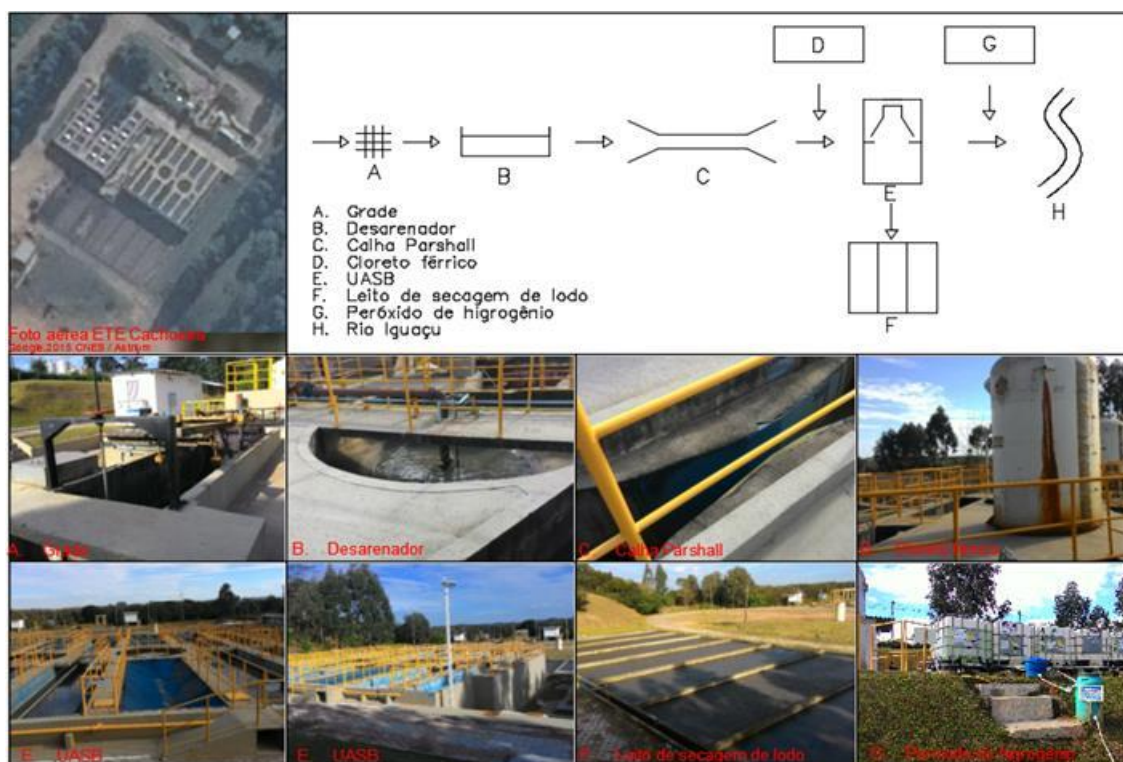


FIGURA 3.5 – FLUXOGRAMA DA ETE CACHOEIRA

Após chegar na estação, o esgoto passa por tratamento preliminar com gradeamento, onde são retirados os materiais grosseiros, seguido de desarenadores ciclônicos para remoção de areia, sendo então encaminhado à calha parshall para medição de vazão. Na entrada do reator UASB é acrescentado cloreto férrico para reduzir o odor gerado e polímeros para adensar o floco. O lodo gerado é encaminhado para o desaguamento em leitos de secagem.

O lodo de reator UASB desaguado em centrifuga foi gerado na própria ETE Fazenda Rio Grande (TABELA 3.1), nos meses de março e abril de 2012. A ETE possui gradeamento mecanizado, desarenador *door oliver*, três reatores, lagoa aerada e lagoa de sedimentação. O lodo utilizado na pesquisa, após ser

descarregado do reator UASB, seguiu em caçambas para a área de desague mecânico da estação.



FIGURA 3.6 – OBTENÇÃO DO LODO DE UASB DESAGUADO EM CENTRÍFUGA: A) INSTALAÇÃO LOCAL DE DESAGUE DO LODO; B) TORTA DE LODO DE UASB APÓS O DESAGUAMENTO

Após o desaguamento, o lodo foi acumulado e armazenado em pátio coberto na estação até a obtenção de todo o volume requerido, no tempo aproximado de dois meses. O lodo foi homogeneizado formando um lote único e parte dele foi transportada para o município de Apucarana, o suficiente para montar 9 unidades experimentais com lodo de fossa séptica juntamente com o mesmo volume de lodo de UASB desaguado em leitos de secagem.

### 3.1.3 Delineamento Experimental

Os tratamentos realizados visaram observar o comportamento dos lodos em relação à sua higienização e secagem através de diferentes fatores aplicados, ou seja, a influência desses processos na redução de patógenos (Tabela 3.2).

TABELA 3.2 – FATORES ANALISADOS NOS TRATAMENTOS DE ESTOCAGEM PROLONGADA POR TIPO DE LODO

FATOR	VARIÁVEL	CONDIÇÃO
Teor de sólidos	Desaguado em centrífuga Desaguado em leito	PERDA DE UMIDADE
Cobertura	Coberto Descoberto	PADRÃO SANEPAR
Revolvimento manual	Com revolvimento Sem revolvimento	SEMANAL/QUINZENAL POR 20 MESES
Local	Fazenda Rio Grande Apucarana	CLIMA

Ao todo foram realizados 18 tratamentos nos lodos, sintetizados na Tabela 3.3 e FIGURA 3.7, entretanto nos tratamentos realizados em Apucarana sob pátio coberto não foram realizadas repetições, foram avaliadas apenas duas unidades experimentais, uma de lodo séptico e a outra de lodo de UASB-Leito, ambas sem revolvimento

TABELA 3.3 – Higienização Natural de Lodo por Armazenamento Prolongado: Tratamentos aplicados nos lodos

<b>Origem do Lodo</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>Condições Operacionais</b>
Tanque Séptico	Tratamento 01 – TR1	Pátio Coberto Com Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 02 – TR2	Pátio Coberto Sem Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 03 – TR3	Pátio Descoberto Com Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 04 – TR4	Pátio Descoberto Sem Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 05 – TR5	Pátio Descoberto Com Revolvimento em Apucarana
	Tratamento 06 – TR6	Pátio Descoberto Sem Revolvimento em Apucarana
	Tratamento A – TRA	Pátio Coberto Sem Revolvimento em Apucarana
UASB desaguado em leito de secagem LUASB1	Tratamento 07 – TR7	Pátio Coberto Com Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 08 – TR8	Pátio Coberto Sem Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 09 – TR9	Pátio Descoberto Com Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 10 – TR10	Pátio Descoberto Sem Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 11 – TR11	Pátio Descoberto Com Revolvimento em Apucarana
	Tratamento 12 – TR12	Pátio Descoberto Sem Revolvimento em Apucarana
	Tratamento B – TRB	Pátio coberto Sem Revolvimento em Apucarana
UASB desaguado em centrífuga LUASB2	Tratamento 13 – TR13	Pátio Coberto Com Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 14 – TR14	Pátio Coberto Sem Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 15 – TR15	Pátio Descoberto Com Revolvimento em Fazenda Rio Grande
	Tratamento 16 – TR16	Pátio Descoberto Sem Revolvimento em Fazenda Rio Grande

## DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

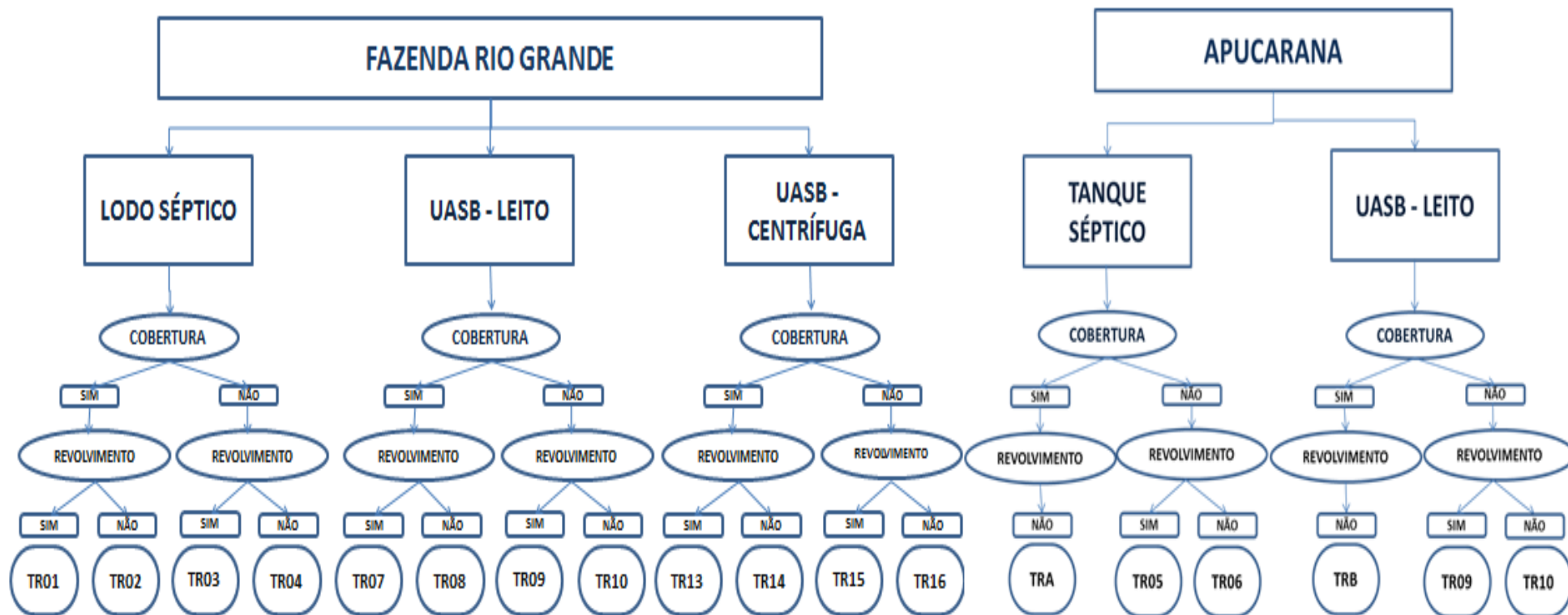


FIGURA 3.7 – FLUXOGRAMA DOS TRATAMENTOS REALIZADOS NO EXPERIMENTO DE ESTOCAGEM PROLONGADA DE LODO

Nota: TR – Tratamento

### 3.1.3.1 Dispositivo Experimental em Fazenda Rio Grande

Na área da ETE Fazenda Rio Grande, foram realizados 12 tratamentos nos lodos, com quatro repetições cada, formando 48 unidades experimentais. Seis tratamentos foram realizados em pátio coberto e seis em pátio descoberto, a céu aberto. Os arranjos são formados por lodo de UASB-Centrífuga, lodo de reator UASB-Leito e lodo proveniente de tanques sépticos.

Em FRG foi construído um pátio de saibro de  $15 \times 17 \text{ m}^2$  (FIGURA 3.8). Foi criado um lote de aproximadamente  $16 \text{ m}^3$  para cada tipo de lodo já digerido e desaguado. O lodo foi distribuído em parcelas de  $1 \text{ m}^3$  (1m de largura, 2 m de comprimento e 0,50 m de altura), totalizando as 48 unidades experimentais na estação.

Devido às características físicas do lodo, a possibilidade de espalhamento sobre a área do pátio e a redução dos riscos de contaminação, optou-se por confinar as unidades lateralmente, em caixas de madeira, deixando uma faixa de aproximadamente um metro para permitir a circulação durante o monitoramento. As caixas não possuíam cobertura nem fundo, sem sistema de drenagem, ficando diretamente sobre o piso.



FIGURA 3.8 – CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO PÁTIO DESCOBERTO EM FAZENDA RIO GRANDE A) IDENTIFICAÇÃO DO EXPERIMENTO; (B) ÁREA ONDE FOI CONSTRUÍDO O PÁTIO DE CIMENTO (C) UNIDADES EXPERIMENTAIS JÁ MONTADAS EM PÁTIO DESCOBERTO; (D) VISTA DO PÁTIO DESCOBERTO APÓS A MONTAGEM COM O PÁTIO COBERTO AO FUNDO

### 3.1.3.2 Dispositivo Experimental em Apucarana

Para a realização do experimento em Apucarana, foi construído um pátio de cimento nos fundos da ETE de 15x17m<sup>2</sup> e um abrigo de tijolos para a proteção do *datalogger*. As imagens ilustram a construção do pátio e a montagem das unidades experimentais.



FIGURA 3.9 – CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO PÁTIO DESCOBERTO EM APUCARANA; A) IDENTIFICAÇÃO DO EXPERIMENTO; (B) ÁREA ONDE FOI CONSTRUÍDO O PÁTIO DE CIMENTO (C) UNIDADES EXPERIMENTAIS JÁ MONTADAS EM PÁTIO DESCOBERTO; (D) VISTA DO PÁTIO DESCOBERTO APÓS A MONTAGEM

Em Apucarana, foram desenvolvidos quatro tratamentos em pátio descoberto, tendo quatro repetições cada (16 unidades experimentais), estes contemplam lodo séptico e lodo de L<sub>UASB1</sub>, com e sem revolvimento. Sob cobertura foram realizados dois tratamentos, um com lodo séptico e o outro com lodo de L<sub>UASB1</sub>, ambos sem revolvimento e sem repetição. As dimensões das unidades são as mesmas das montadas em Fazenda Rio Grande, parcelas de 1m<sup>3</sup> (1m de largura, 2 m de comprimento e 0,50 m de altura). Os lodos são provenientes dos lotes formados em

Fazenda Rio Grande, que foram transportados para Apucarana e montados com duas semanas de diferença entre as localidades, em abril de 2012.

### 3.1.3.3 *Revolvimento*

O revolvimento das unidades experimentais submetidas a esse processo foi realizado ao longo dos dois anos de experimento. A frequência do revolvimento nos três primeiros meses foi semanal e após esse período, a cada 14 dias, nas duas localidades. O procedimento foi realizado manualmente com enxada (FIGURA 3.10) por pelo menos 15 minutos em cada unidade.



FIGURA 3.10 – REVOLVIMENTO DAS LEIRAS REALIZADO MANUALMENTE COM ENXADA

### 3.1.3.4 *Cobertura*

Para avaliar a influência da cobertura na secagem e higienização dos lodos, foram realizados tratamentos em pátio coberto (FIGURA 3.11) e sob céu aberto no município de Fazenda Rio Grande. No município de Apucarana, 16 unidades experimentais ficaram locadas em pátio descoberto, e duas em pátio coberto.



FIGURA 3.11 – PÁTIO EXPERIMENTAL COBERTO: (A) EM FAZENDA RIO GRANDE; (B) APUCARANA

### 3.1.4 Plano de amostragem

#### a) Método de amostragem

Para a amostragem foram confeccionados coletores em PVC (bomba de sucção), de 1 metro de comprimento, formados por um tubo de diâmetro menor (10 cm) inserido em outro de maior diâmetro (15 cm), conectados por um redutor. O funcionamento ocorre pelo deslocamento vertical do tubo interno, succionando o lodo para o tubo visando obter um perfil integral das amostras. Foram confeccionados 2 amostradores para cada tipo de lodo. Baldes, espátulas e pás foram utilizados para auxílio na coleta, tomando os cuidados necessários para não haver contaminação das amostras. O lodo foi coletado em diferentes pontos da leira ao longo do seu perfil vertical (FIGURA 3.12), formando uma amostra composta homogeneizada, que foi então quarteada, seguindo orientações da (USEPA, 2003), formando amostras com no mínimo 1 kg para as análises microbiológicas e parasitológicas.

O acondicionamento foi feito em embalagens estéreis e armazenadas/refrigeradas em caixas do tipo *cooler*, mantendo a temperatura em torno de 4 °C, para o envio aos laboratórios.



FIGURA 3.12 – AMOSTRAGEM DO LODO NA UNIDADE EXPERIMENTAL: (A) PONTOS DE COLETA; (B) (C) COLETORES DE PVC UTILIZADOS

#### B) Parâmetros analisados e frequência das análises

A amostragem inicial havia sido programada para um período mínimo de 1 (um) ano, com o intuito de abranger as quatro estações do ano para acompanhar as influências climatológicas e as transformações no lodo, finalizando até o lodo estar



higienizado. De acordo com os resultados preliminares obtidos, baseados no acompanhamento do decaimento dos microrganismos e levando em conta fatores econômicos e tempo de desenvolvimento da tese, ficou estabelecido um período de 2 (dois) anos, com início em abril de 2012 e término em abril de 2014, que foi realizado conforme descrito na Tabela 3.4, apresentado juntamente com a nomenclatura utilizada para o tempo.

Foram analisadas 66 amostras em cada uma das 9 coletas realizadas referentes aos 16 tratamentos com quatro repetições e aos dois tratamentos sem repetição. Foram descartados os resultados  $t_0$  para ovos de helmintos e  $t_0$  no lodo séptico para *Salmonella* spp..

As amostras de ovos de helmintos e sólidos totais foram analisadas sempre em duplicata. Não foram realizadas análises em  $t_{17}$ ,  $t_{30}$  e  $t_{47}$ , no LUASB1 em FRG para ovos de helmintos. Ao todo foi realizada a contagem de ovos de helmintos de 1.092 amostras de lodo de esgoto no experimento de estocagem prolongada. Desconsiderando a amostragem em  $t_0$ , tem-se 960 amostras válidas para este parâmetro.

Os resultados apresentados em  $t_0$  referem-se às concentrações de sólidos totais, relação sólidos voláteis/sólidos totais (SV/ST) e coliformes termotolerantes, além do potencial hidrogeniônico (pH). Os resultados de ovos de helmintos são apresentados a partir de  $t_4$ , quatro semanas após o início do experimento em virtude da adaptação dos laboratórios. Os resultados gráficos são apresentados por semana, correspondendo às amostragens realizadas.

TABELA 3.4 – LEGENDA UTILIZADA PARA A VARIÁVEL TEMPO E FREQUÊNCIA DAS ANÁLISES REALIZADAS NO EXPERIMENTO DE ESTOCAGEM PROLONGADA DE LODO, POR PARÂMETRO DATA DE COLETA, PERÍODO CORRESPONDENTE E TEMPO

Data de Coleta	Tempo (semanas)								
	Abr/12	Mai/12	Mai-Jun/12	Jun-Jul/12	Jul-Ago/12	Out-Nov/12	Jan-Fev/13	Mai-Jun/13	Mar-Abr/14
<b>Tempo (semanas)</b>	0	4	9	13	17	30	47	61	104
<b>Legenda do tempo (semanas)</b>	$t_0$	$t_4$	$t_9$	$t_{13}$	$t_{17}$	$t_{30}$	$t_{47}$	$t_{61}$	$t_{104}$
<b>PARÂMETRO</b>	Sólidos Totais	x	x	x	x	x	x	x	x
	SV/ST	x	x	x	x	x	x	x	x
	pH	x	x	x	x	x	x	x	x
	Coliformes termotolerantes	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Salmonella</i> spp.	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ovos de Helmintos	*	x	x	x	x	x	x	x

NOTA: \* Resultados desconsiderados.

### 3.1.4.1 Análise de dados

A realização das análises laboratoriais ocorreu em diferentes laboratórios e instituições. Na Tabela 3.5 são apresentados os parâmetros analisados ao longo do processo, o método analítico e o laboratório responsável.

TABELA 3.5 – ANÁLISES LABORATORIAIS REALIZADAS NO PERÍODO DO PROJETO – ESTOCAGEM PROLONGADA

Parâmetros	Laboratório Responsável	Método
Sólidos totais e sólidos voláteis totais	UFPR – LABEAM	APHA (1998)
Ovos viáveis de helmintos	UFPR – PARASITOLOGIA E UP	YANKO MODIFICADO (2000)
pH	UFPR – LABEAM	APHA (1998)
<i>Salmonella</i> spp.	UP	USEPA (2003)
Coliformes Termotolerantes	UP	CONAMA 376/06

NOTA: UP – Universidade Positivo; UFPR – Universidade Federal do Paraná

Nos primeiros meses, quando o lodo ainda se encontrava com características líquidas, para a realização da análise de sólidos totais o lodo foi submetido a banho-maria.

A contagem de coliformes termotolerantes em amostras de lodo de esgoto e tanque séptico e *Salmonella* sp. foi realizada pela técnica dos tubos múltiplos, de acordo com o preconizada na norma CONAMA 375/2006. As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Positivo – UP.

O método utilizado para contagem de ovos viáveis de helmintos é o de YANKO modificado, metodologia descrita por Thomaz-Soccol, Paulino e Castro (2000). Os resultados referem-se a ovos dos seguintes Helmintos: *Ascaris* sp., *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *Trichuris vulpis*, *Trichuroidea*, *Himenolepis diminuta* e *Taenia* sp..

Contudo, foram utilizados os resultados do gênero *Ascaris* sp. para avaliação de ovos viáveis de helmintos, uma vez que a metodologia estabelecida pela legislação vigente (BRASIL, 2006; PARANÁ, 2009) refere-se a detecção, enumeração e determinação de viabilidade de ovos de *Ascaris* (BOWMAN; LITTLE; REIMERS, 2003; EPA, 2003). De forma simplificada, essa metodologia consiste no emprego de técnicas de sedimentação, flutuação e centrifugação com a utilização de

soluções que propiciam uma maior limpeza da amostra. Inicialmente a amostra é tamponada (tampão fosfato), contendo um surfactante (Tween 80). Após a diluição com água deionizada, a amostra é filtrada para a remoção de partículas sólidas e fica em repouso por 12 horas para sedimentação. O sobrenadante é retirado e o sedimento colocado em tubos, centrifugado a 1250 rpm por 3 minutos. O sedimento resultante é resuspenso com solução de sulfato de zinco e centrifugado a 1250 rpm por 3 minutos. O sobrenadante é transferido para um frasco erlenmeyer e diluído à metade da sua concentração, com água deionizada. Em seguida, aguarda-se a sedimentação por 3 horas. O sedimento é resuspenso em água e transferido para tubos e centrifugado a 1400 rpm por 3 minutos. o sedimento resultante é ressuspendido em solução ácido-álcool-éter e novamente centrifugado. O sedimento resultante é ressuspendido em 4mL de solução 0,1N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. A amostra é incubada em estufa a 26 °C, sendo a contagem dos ovos totais e viáveis efetuada após 4 semanas em câmara de Sedgwick-Rafter.

A contagem de coliformes termotolerantes em amostras de lodo de esgoto e tanque séptico foi realizada pela técnica dos tubos múltiplos, de acordo com o preconizado na norma CONAMA 375/2006. As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Positivo – UP.

A metodologia para diagnóstico de *Salmonella* em amostras de lodo de esgoto e tanque séptico foi a de Meio Rappaport-Vassialidis modificado (EPA, 2006). As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Positivo – UP.

Os vírus não foram analisados em virtude dos recursos laboratoriais disponíveis.

### 3.1.5 Monitoramento climatológico

As variáveis climáticas monitoradas foram: precipitação, radiação solar, obtidos pelo Instituto Tecnológico Simepar – Sistema Meteorológico do Paraná, além da umidade relativa do ar e a temperatura do ar, que complementaram os dados obtidos com o datalogger conectado às unidades experimentais. Em Fazenda Rio Grande, os dados foram obtidos da Estação Meteorológica Gralha Azul, localizada entre as coordenadas geográficas: Latitude 25°37.32.S e 25°41.33.S; Longitude 49°15.29.W e 49°17.27.W e altitudes entre 870 e 920m acima do nível do mar. Em Apucarana, a Estação Meteorológica foi a Apucarana, estação automática situada

no mesmo local. A estação localiza-se nas coordenadas de 23° 30' de latitude sul e 51° 32' de longitude oeste, e altitude de 746 metros.

O perfil de temperatura na massa de lodo das unidades experimentais foi monitorado através de sensores conectados a um datalogger, por 24 horas consecutivas e leituras automáticas a cada 20 minutos, bem como a temperatura ambiente e umidade relativa do ar (Figura 3.13). Para as análises foram obtidos os valores médios de temperatura do lodo, umidade relativa do ar, temperatura ambiente de cada tratamento, nas campanhas amostrais, correspondentes ao mês anterior que antecede cada coleta.



FIGURA 3.13 – MONTAGEM, INSTALAÇÃO DO DATALOGGER E SENSORES DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR (A) INTERIOR DO EQUIPAMENTO; (B) PAINEL DE LEITURA; (C) ABRIGO DO DATALOGGER DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR; (D) SENSORES EM CADA UNIDADE EXPERIMENTAL

### 3.1.6 Análise estatística

O efeito dos tratamentos ao longo do tempo foi avaliado através da análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas para comparar as médias de sólidos totais, ovos viáveis de helmintos, coliformes termotolerantes e *Salmonella* spp. no período de higienização, sendo as análises estatísticas realizadas com o auxílio do

software Statistica 6.0 para Windows. A variável dependente controlada no experimento é o tempo, correspondente a um período de dois anos de monitoramento. A avaliação estatística, utilizando-se o teste não paramétrico de Fischer foi realizada a fim de verificar a existência de diferenças significativas entre os diferentes fatores nos tratamentos. O nível de significância adotado foi de 5%.

Os fatores independentes avaliados (Tabela 3.2) por tipo de lodo são:

**a) Fator local – tratamentos realizados no município de Apucarana ou no município de Fazenda Rio Grande.**

Foram analisados os resultados de sólidos totais, contagem de *Salmonella* sp., coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos, ao longo do tempo com intervalos de confiança de 95%, separados por tipo de lodo para as duas localidades. Para esta análise não foram considerados os tratamentos realizados em pátio coberto e os tratamentos com lodo de LUASB2, para manter as mesmas condições nas duas localidades, pois nos dois tratamentos realizados em pátio coberto no município de Apucarana (1 unidade de lodo séptico e 1 de LUASB1) não houve repetição, foram avaliadas como unidades de controle e os resultados obtidos não foram analisados estatisticamente.

**b) Fator cobertura – lodos dispostos sob pátio coberto ou dispostos em pátio descoberto a céu aberto.**

Foram analisados os resultados de sólidos totais, contagem de *Salmonella* sp., coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos, ao longo do tempo com intervalos de confiança de 95%, separados por tipo de lodo, nos tratamentos realizados apenas em Fazenda Rio Grande. No município de Apucarana, os tratamentos foram realizados em pátio descoberto. Nos dois tratamentos realizados em pátio coberto no município de Apucarana foi avaliada apenas uma unidade experimental, não houve repetição e os resultados obtidos não foram avaliados no teste estatístico.

**c) Fator revolvimento– lodos revolvidos e não revolvidos.**

Foram analisados os resultados de sólidos totais, contagem de *Salmonella* sp., coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos, ao longo do tempo com intervalos de confiança de 95%, separados por tipo de lodo, de todos os tratamentos.

### 3.2 INFLUÊNCIA DOS LEITOS DE SECAGEM NA REDUÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS E COLIFORMES EM LODO DE ESGOTO PROVENIENTE DE REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO (UASB)

Foram observadas baixas concentrações de ovos viáveis de helmintos, em lodo de UASB desaguado em leitos de secagem, quando da realização da pesquisa de estocagem prolongada. Em vista disso, foram realizadas novas investigações, monitorando conjuntamente a desidratação do lodo e a redução de patógenos em lodo desaguado em leitos de secagem.

#### 3.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Menino Deus, da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), localizada no Município de Quatro Barras, Região Metropolitana de Curitiba ( Figura 3.1).

O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb - clima sub tropical úmido mesotérmico, com verões frescos e ocorrência de geadas severas e freqüentes, não apresentando estação seca. A temperatura média dos meses mais quentes é inferior a 22° C e abaixo de 18 °C nos meses mais frios (IPPUC, 2013). A ETE Menino Deus recebe os esgotos sanitários da cidade de Quatro Barras e seu fluxograma contempla tratamento preliminar, reatores anaeróbios tipo Ralf e lagoas

A ETE Menino Deus trata uma vazão de 63 L/s, o correspondente a 51.090 habitantes, e opera com tratamento preliminar composto de grade de 20 mm, desarenador tipo calha retangular e calha parshall, segue-se a ele um único reator tipo UASB e uma lagoa facultativa aerada (ROSS *et al.*, 2015). O lodo dos reatores anaeróbios é encaminhado a leito de secagem.

#### 3.2.2 Delineamento Experimental

- **Lodo oriundo do UASB**

O lodo dos reatores anaeróbios foi encaminhado a cinco leitos de secagem, cada um com dimensões de 17 x 10 m e 0,5 m de profundidade. Um dos leitos de secagem foi modificado para atender ao projeto, sendo subdividido, formando áreas menores de 5 x 3 m, agora denominados L1 e L2 (FIGURA 3.14). A subdivisão

permitiu também a disponibilização de leitos pilotos para estudo do desaguamento de espuma produzidas nos reatores anaeróbios.

Para a descarga do lodo anaeróbio foi utilizada a tubulação existente na ETE. A descarga de lodo ocorreu no dia 23 de abril de 2014 ( $t_0$ ). A temperatura média deste dia foi de 19 °C e o tempo estava chuvoso. No momento do enchimento do leito de secagem foi realizada a amostragem do lodo líquido (FIGURA 3.14b). Em cada leito foram coletadas amostras simples com intervalo de 5 minutos até o seu completo enchimento, sendo misturadas e homogeneizadas formando amostras compostas, sendo então encaminhadas para os laboratórios. Em L1 a altura do lodo foi de 37 cm e no L2 a altura foi 44 cm. Avaliou-se o teor de sólidos totais e ovos de helmintos no primeiro dia e após 23 dias.



FIGURA 3.14 – LEITOS DE SECAGEM: (A) SUBDIVISÃO DO LEITO DE SECAGEM – LEITOS L1 E L2 (B) – ENCHIMENTO DO LEITO L1 ATRAVÉS DE TUBULAÇÃO DA ETE  
Fonte: O autor (2014)

Após o período de 27 dias (ciclo de secagem), foram coletadas amostras simples em 4 pontos ao longo de toda a profundidade, de modo que a formar uma amostra composta representativa do leito de secagem. A altura do lodo após o desaguamento era de 7 cm em L1 e a de 12 cm em L2. O líquido drenado dos leitos retornou ao início do tratamento na ETE não sendo analisado. A temperatura média era de 26 °C e o dia estava ensolarado.

- **Lodo inoculado com ovos de helmintos**

Em 2015, o leito de secagem localizado na ETE Menino Deus passou por outro processo de divisão, sendo subdividido em seis partes de 50 x 50 cm (Figura 3.14a). A divisão dos lotes foi feita em alvenaria e possibilitou a avaliação de diferentes taxas de aplicação de sólidos ao mesmo tempo. Cada lote recebeu uma

camada extra de areia de cobertura com a espessura de 5 cm (ROSS *et al.*, 2015). Foi realizado novo deságue do lodo anaeróbico, e subsequente amostragem em abril de 2015. Em três (3) dos seis mini-leitos foram despejados 75 litros de lodo oriundo de reator UASB da ETE Padilha (FIGURA 3.14b), com aproximadamente 30 cm de altura, e foram inoculados com número conhecido de 1.800 ovos (Figura 3.15d). Nos outros três leitos foram despejados 113 litros de lodo (50 cm de altura) e contaminados com 3.600 ovos. Foram realizadas amostragens no 1º dia, após 15, 23 e 30 dias. Este período de observação é próximo ao tempo médio do ciclo de secagem em leito observado na Região Sul do Paraná e próximo ao que se observa no inverno (ver item 2.2.1).

A partir da segunda coleta realizada, com o lodo de consistência mais sólida, foi utilizado um amostrador (Figura 3.15 e), que através da pressão exercida (tipo pistão) succionava o lodo. Dessa forma, foi possível coletar a amostra em todo seu perfil, da parte interna, mais úmida, à superfície, com menor teor de umidade (Figura 3.14f).

Os ovos viáveis de *Ascaris suum* foram importados pelo LABEAM da Universidade Federal do Paraná, da empresa Excelsior Sentinel (ITHACA, NY, EUA). Os ovos de *Ascaris* foram isolados do intestino de suínos contaminados pelo parasita, a partir de filtrações sequenciais, com a finalidade de purificar e concentrar o material. Durante o processo, os ovos não foram submetidos a nenhum reagente ou tratamento químico. O número de ovos em suspensão concentrados no tubo foi de  $4 \times 10^4$  ovos/ml e a viabilidade é de 90% (Figura 3.15 c).

A escolha de ovos do parasita suíno *A. suum* fundamentou-se em três principais características deste organismo: (a) a espécie *A. suum* apresenta baixa patogenicidade para humanos, quando comparada à espécie *A. lumbricoides*; (b) as espécies de *Ascaris* são estrutural e geneticamente similares, podendo ser utilizadas como modelo experimental do gênero, em consonância com o objetivo da pesquisa; e (c) ovos de *A. suum* são disponibilizados comercialmente, purificados e em concentração conhecida.

A integridade dos ovos adquiridos foi verificada pela análise de alíquotas de 1 mL da suspensão em microscópio óptico, marca Olympus (Tóquio, Japão), modelo BX41, e na sequência, foram realizados ensaios de verificação da viabilidade dos ovos obtidos.





FIGURA 3.15 – LEITOS DE SECAGEM: (A) SUBDIVISÃO DO LEITO DE SECAGEM – LEITOS 1, 2, 3, 4, 5 E 6 (2014) (B)– ENCHIMENTO DOS LEITOS ATRAVÉS DE MANGUEIRA PROVENIENTE DE CAMINHÃO PIPA (C) OVOS DE HELMINTOS CONCENTRADOS (D) INOCULAÇÃO DOS OVOS EM LEITO DE SECAGEM (E) AMOSTRADOR DE LODO (F) AMOSTRA – PERFIL VERTICAL  
 Fonte: O autor (2015)

A síntese do delineamento experimental encontra-se na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 – HIGIENIZAÇÃO DE LODO EM LEITOS DE SECAGEM: SÍNTESE DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

LODO	PERÍODO	VOLUME	NÚMERO DE LEITOS	TEMPO (DIAS)	ANÁLISE
Anaeróbio	Abril e maio – 2014	5 x 3 m h≅ 45cm	N = 2	0 23	ST, SFT e SVT; Ovos viáveis de helmintos
Anaeróbio inoculado	Junho e julho – 2015	75L (3 leitos) 113L (3 leitos)	N=6	1 15 23 <sup>(1)</sup> 30	ST, SFT e SVT; Ovos totais e viáveis de helmintos; Coliformes totais e termotolerantes

Nota: <sup>(1)</sup> Aproximadamente 1 ciclo de secagem; h = altura do lodo

#### • Análises Laboratoriais

Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas em embalagens estéreis e armazenadas/refrigeradas em caixas do tipo cooler, mantendo a temperatura em torno de 4 °C.

A análise da contagem e caracterização dos ovos de helmintos foram conduzidas no laboratório de parasitologia da Universidade Positivo, o método utilizado para as análises é o de YANKO (1987) modificado (THOMAZ-SOCCOL, PAULINO, CASTRO, 2000). Avaliou-se o teor de ST, SFT e SVT de acordo com a metodologia presente no *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Os ensaios da série de sólidos foi realizados nas instalações do Laboratório de Engenharia Ambiental Professor Francisco Borsari Netto (LBEAM/ UFPR). As amostras para análise de Coliformes total e termotolerantes foi encaminhada para o Teclab laboratórios.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa são apresentados e discutidos neste capítulo, subdivididos em três tópicos principais, conforme cada objetivo específico proposto.

### 4.1 AVALIAÇÃO DOS FATORES CLIMÁTICOS E OPERACIONAIS NA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PATÓGENOS EM LODO SÉPTICO E EM LODO ANAERÓBIO, POR ESTOCAGEM PROLONGADA

Para a apresentação e discussão dos resultados foi feita a subdivisão dos tópicos da seguinte forma:

- Condições ambientais
- Sólidos totais, sólidos voláteis e potencial hidrogeniônico
- Coliformes termotolerantes
- *Salmonella* spp.
- Ovos de helmintos

Inicialmente são apresentados os resultados do monitoramento ambiental efetuado para avaliação da secagem e higienização do lodo, discutidos conjuntamente na análise de cada um dos microrganismos patogênicos. Foi realizada a subdivisão por microrganismo: coliformes termotolerantes, *Salmonella* sp e ovos viáveis de helmintos, sendo os resultados apresentados, primeiramente, por tipo de lodo e tratamento. Em seguida, através da análise estatística realizada, foram avaliados como os fatores local, cobertura e revolvimento interferiram no processo de higienização dos lodos.

Os resultados apresentados a seguir utilizam-se das seguintes legendas:

- FRG: Fazenda Rio Grande;
- APU: Apucarana;
- PC: pátio coberto;
- PD: pátio descoberto;
- L<sub>UASB1</sub>: Lodo de UASB desaguado em leito de secagem;
- L<sub>UASB2</sub>: Lodo de UASB desaguado em centrífuga.
- t<sub>4</sub>: 4 semanas ; t<sub>9</sub>: 9 semanas; t<sub>13</sub>: 13 semanas; t<sub>17</sub>: 17 semanas; t<sub>30</sub>: 30 semanas t<sub>47</sub>: 47 semanas t<sub>61</sub>: 61semanas t<sub>104</sub>: 104 semanas.

#### 4.1.1 Condições ambientais

Os fatores ambientais aos quais os lodos são expostos no processo de higienização por longos períodos de estocagem são apresentados no início deste capítulo para subsidiar as discussões quanto à sua influência na secagem e sobre a sobrevivência dos organismos patogênicos presentes nos lodos.

Os dados climatológicos referentes às localidades onde foi conduzido o trabalho, no período de estudo, são apresentados por dia, no primeiro ano de estocagem do lodo (abril de 2012 – abril de 2013), (FIGURA 4.1 – Valores médios de temperatura ambiente (máxima, média e mínima), umidade relativa do ar e precipitação diária no primeiro ano dos experimentos em campo. Fazenda Rio Grande (a) e Apucarana (b)) e no segundo ano, de abril de 2013 à abril de 2014 (FIGURA 4.2 – Valores médios de Temperatura ambiente (máxima, média e mínima), umidade relativa do ar e precipitação diária no segundo ano dos experimentos em campo. Fazenda Rio Grande (a) e Apucarana (b)).

Com exceção de  $t_0$ , que corresponde a implantação do experimento, estão sintetizados na Tabela 4.1 dados de precipitação mensal, valores médios de umidade relativa do ar, temperatura média ambiente, radiação solar, correspondentes aos 30 dias que antecedem oito das nove campanhas amostrais.

TABELA 4.1 – VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA AMBIENTE, PRECIPITAÇÃO, UMIDADE RELATIVA DO AR AO LONGO DO TEMPO

Data		Abr- Mai/12	Mai- Jun/12	Jun- Jul/12	Jul- Ago/12	Out- Nov/12	Jan- Fev/13	Mai- Jun/13	Mar- Abr/14
Tempo		$t_4$	$t_9$	$t_{13}$	$t_{17}$	$t_{30}$	$t_{47}$	$t_{61}$	$t_{104}$
Semanas		04	09	13	17	30	47	61	104
Temperatura ambiente (°C)	FRG	17,54	15,49	14,02	13,41	18,92	20,06	13,18	21,18
	APU	20,76	20,17	17,73	17,03	23,04	21,69	16,91	22,14
Precipitação (mm)	FRG	159,60	145,20	65,00	94,84	158,00	207,00	61,00	110,60
	APU	145,80	296,20	19,80	0,40	156,80	285,00	255,00	218,60
Umidade do ar (%)	FRG	86,55	80,83	85,53	79,33	76,10	85,79	90,34	81,27
	APU	77,19	80,88	80,90	60,08	71,38	87,12	90,12	79,75
Irradiância (W/m <sup>2</sup> )	FRG	307,51	235,78	195,35	245,98	365,33	337,69	184,26	321,43
	APU	402,97	369,49	286,98	346,82	475,01	317,92	236,74	440,21

NOTA: FRG – Fazenda Rio Grande; APU – Apucarana; t = tempo; TR = tratamento

No período de monitoramento dos primeiros 12 meses (FIGURA 4.1), que teve início em abril de 2012, a temperatura ambiente no município de Fazenda Rio Grande (FRG) variou entre os extremos de mínimo absoluto de 0,2°C no mês de julho de 2012 e máximo absoluto de 34,10°C em dezembro de 2012. A menor média observada foi de 13,41°C no mês de julho de 2012.

A umidade do ar (média mensal) observada em FRG variou de 72,93 a 85,79% ao longo do período do experimento, valores típicos da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), que tem um clima subtropical úmido.

A umidade relativa do ar teve uma variabilidade grande no município de Apucarana (FIGURA 4.1 e FIGURA 4.2). A temperatura ambiente média foi mais elevada durante todo o período de monitoramento (Tabela 4.1) bem como a temperatura da massa do lodo séptico nos tratamentos realizados nesse município. Nas primeiras semanas, as temperaturas das massas nos lodos ficaram muito elevadas, chegando a temperaturas superiores a 35 °C, condição atribuída a decomposição da matéria orgânica mais elevada. O período correspondente ao inverno foi bastante seco em Apucarana, umidade relativa do ar baixa, média de 60% em  $t_{17}$  e alta radiação solar (346 W/m<sup>2</sup>), elevando a temperatura do lodo e o teor de sólidos. Após o período de estiagem, as chuvas retornaram no 150º dia e foram constantes até 350 dias. O valor da evapotranspiração potencial anual no município de Apucarana é de 933,93 mm. O baixo valor de deficiência hídrica na região ocorre em virtude da boa regularidade na precipitação média mensal e por não ocorrer temperaturas médias mensais muito elevadas, possibilitando a maior permanência de água no solo (GRAÇA *et al.*, 2011).

A umidade relativa média do ar em Fazenda Rio Grande foi maior do que em Apucarana praticamente durante toda a pesquisa, o que era esperado devido às diferenças climatológicas conhecidas entre os municípios (APENDICE C). Apenas na 43ª semana em Apucarana o valor medido foi um pouco maior, 87,12%, período com maior incidência de chuvas e baixas temperaturas.

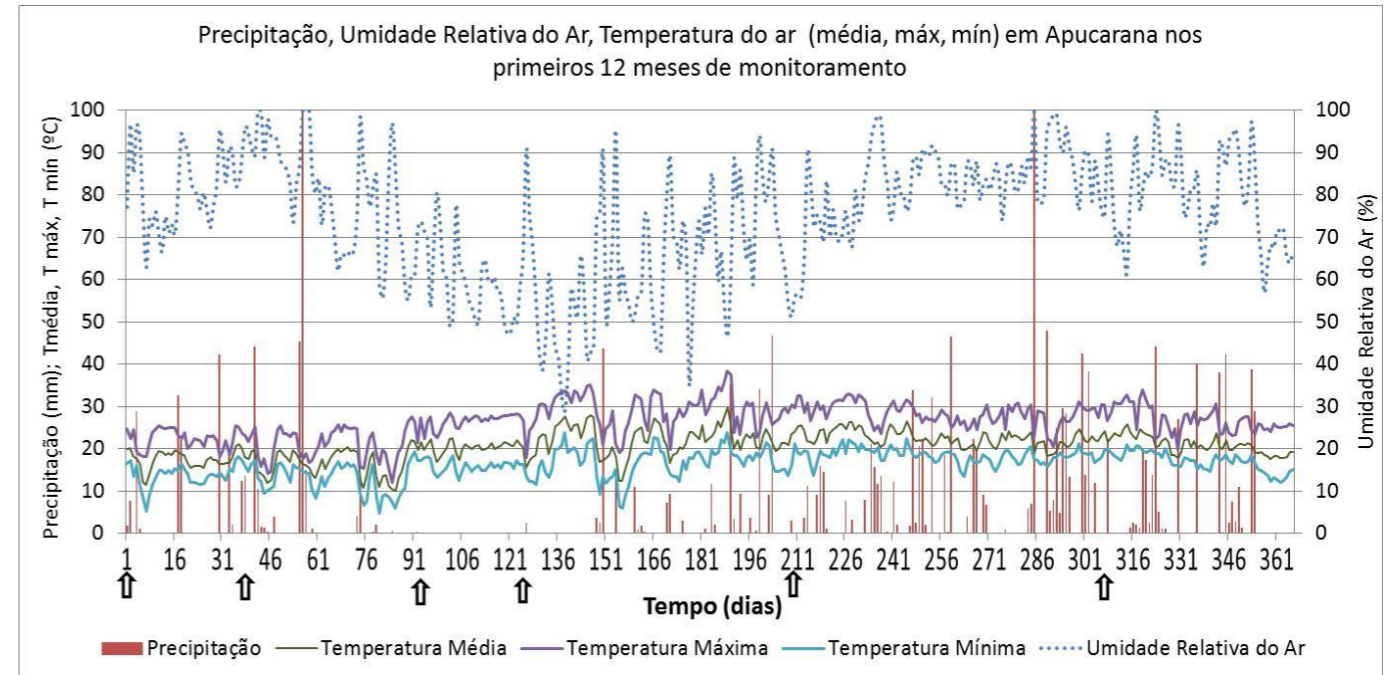
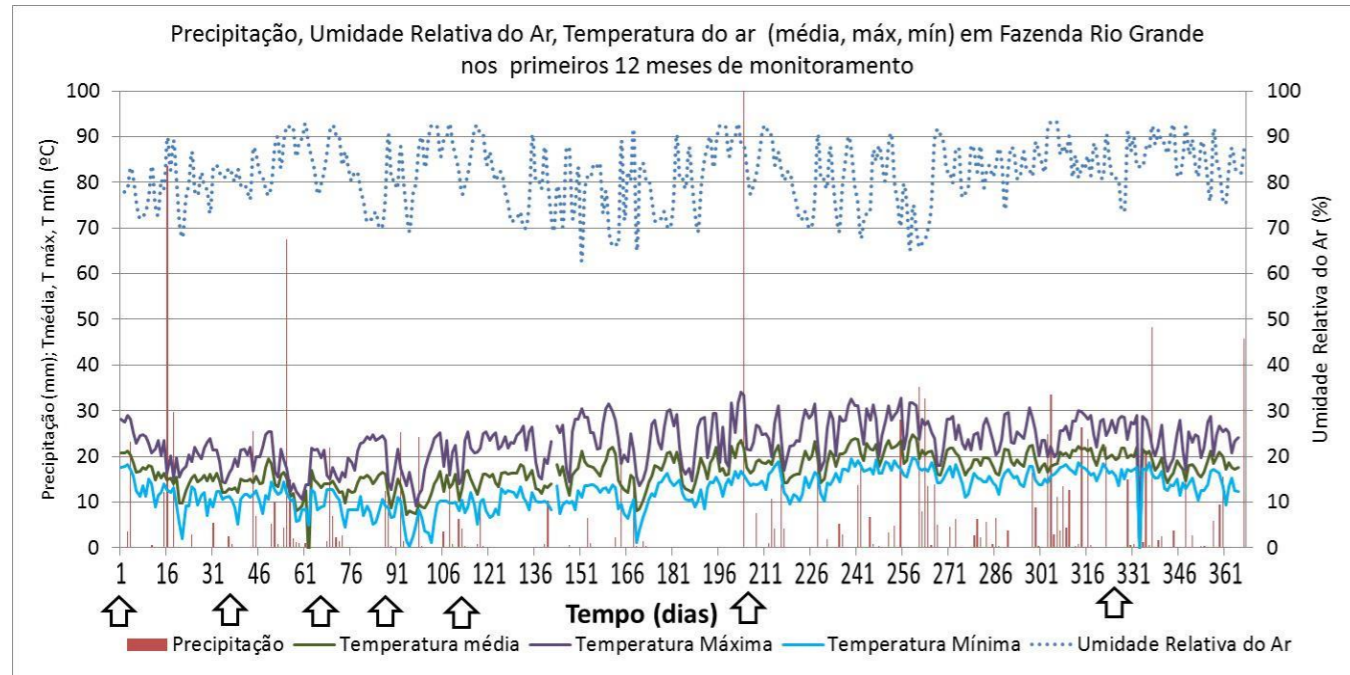


FIGURA 4.1 – VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA AMBIENTE (MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA), UMIDADE RELATIVA DO AR E PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO PRIMEIRO ANO DOS EXPERIMENTOS EM CAMPO. FAZENDA RIO GRANDE (A) E APUCARANA (B)

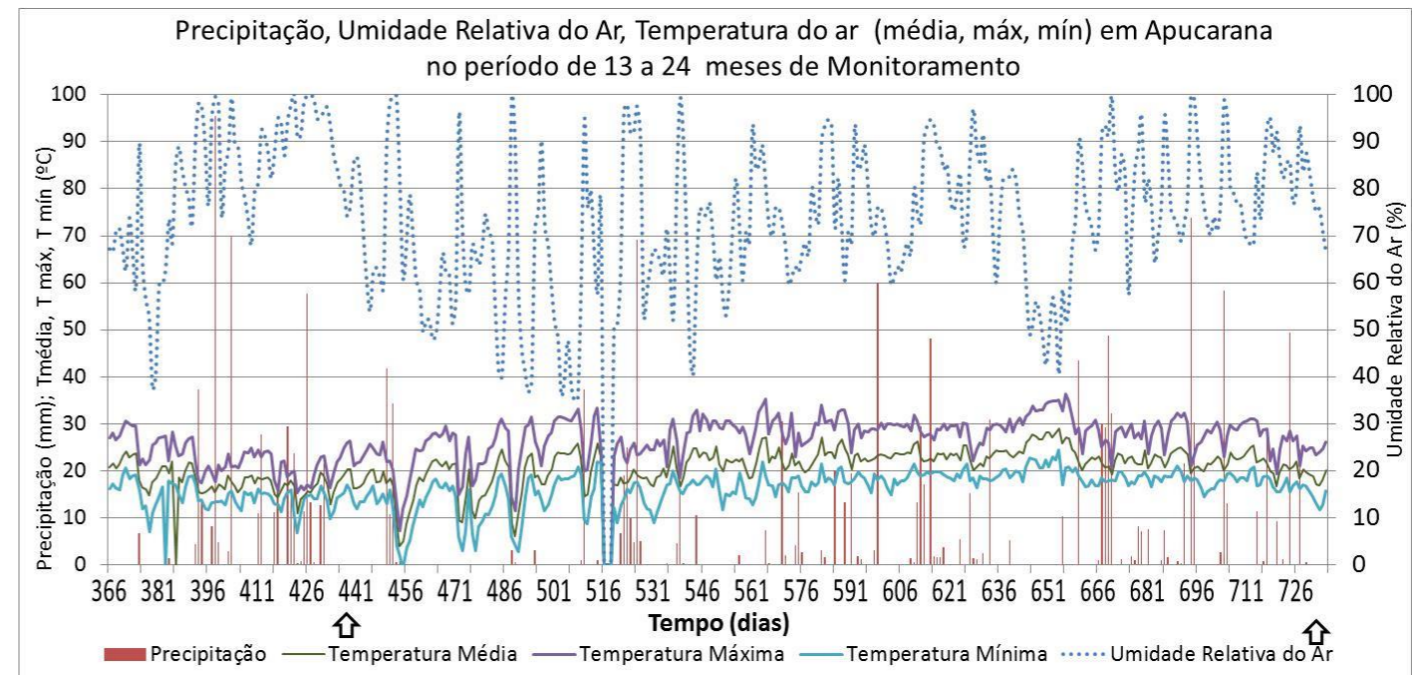
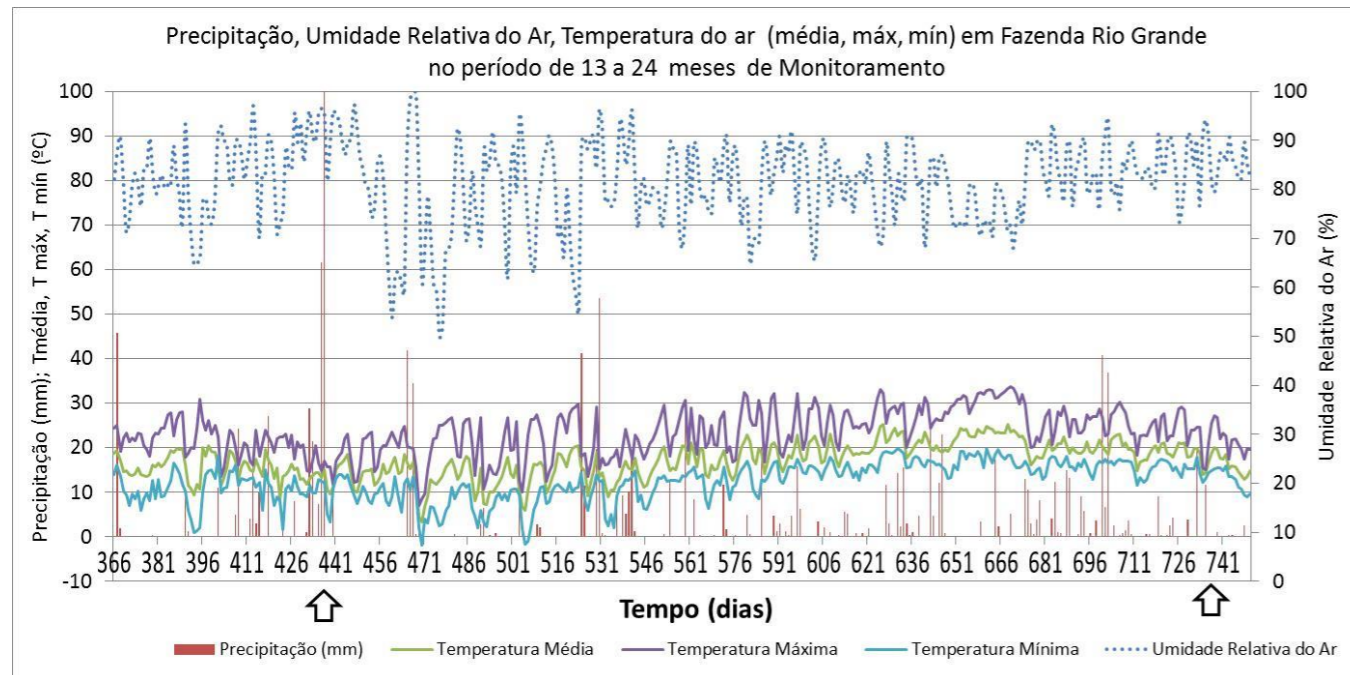


FIGURA 4.2 – VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA AMBIENTE (MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA), UMIDADE RELATIVA DO AR E PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO SEGUNDO ANO DOS EXPERIMENTOS EM CAMPO. FAZENDA RIO GRANDE (A) E APUCARANA (B)

De forma geral, a temperatura média ambiente em Fazenda Rio Grande durante todo o período de monitoramento foi menor do que em Apucarana, semelhantes às séries históricas (Cartas Climáticas – APENDICE A). Em relação às temperaturas, percebe-se que a temperatura média do lodo é um pouco mais elevada do que a temperatura média ambiente ao longo de todo o experimento (Tabela 4.1).

No ano 2014, meses de janeiro a início de abril, as temperaturas mínimas observadas foram 11,7°C em Fazenda Rio Grande no mês de fevereiro e 16,6°C em Apucarana no mês de março, enquanto os máximos absolutos foram de 33,6°C e 36,4°C, respectivamente.

#### 4.1.2 Sólidos totais

O monitoramento do teor de sólidos totais em processo de estocagem prolongada de lodo foi realizado em 9 amostragens. Na Tabela 4.2, são apresentados os valores médios de sólidos totais, por tratamento, ao longo do experimento. Na implementação do experimento, os lodos formavam lotes únicos e então foram subdivididos em parcelas formando as unidades experimentais para cada tipo de lodo. Foram realizadas análises de sólidos totais, fixos e voláteis para cada unidade e feita a média por tipo de lodo, tendo como teor inicial de sólidos totais 37,21% para o lodo de tanques sépticos, 29,77% no lodo de UASB desaguado em centrífuga ( $L_{UASB2}$ ) e 47,81% no lodo de UASB desaguado em leitos de secagem ( $L_{UASB1}$ ), no município de Fazenda Rio Grande. Nos lotes de lodo encaminhados para Apucarana, o teor de sólidos totais no lodo  $L_{UASB1}$  era de 49% e no de tanque séptico 33 %. Valores reportados por Andreoli, Hoppen e Mader Netto (2001) no teor de sólidos totais (%) em lodo séptico desaguado em centrífuga com polieletrólitos foi de 37,3%. O teor elevado de sólidos elevado no lodo de UASB desaguado em leito de secagem ocorreu em virtude do período em que ficou armazenado na ETE após o desaguamento para a formação do lote utilizado para compor as unidades experimentais. As concentrações iniciais médias de sólidos totais no lodo séptico em  $t_4$  variaram de 49 a 56 % aproximadamente.

TABELA 4.2 – VALORES MÉDIOS DE SÓLIDOS TOTAIS, POR TRATAMENTO, AO LONGO DO EXPERIMENTO

						DATA DE COLETA , PERÍODO CORRESPONDENTE E TEMPO (SEMANAS)								
	Tipo de Lodo		Cob	Rev	Tratamento	Abr/12	Abr-Mai/12	Mai-Jun/12	Jun-Jul/12	Jul-Ago/12	Out-Nov/12	Jan-Fev/13	Mai-Jun/13	Mar-Abr/14
						t <sub>0</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>13</sub>	t <sub>17</sub>	t <sub>30</sub>	t <sub>47</sub>	t <sub>61</sub>	t <sub>104</sub>
						0	04	09	13	17	30	47	61	104
SÓLIDOS TOTAIS (%)	Tanque Séptico	FRG	PC	Com	TR1	37,21	49,59	51,13	51,68	45,92	57,30	61,05	61,23	61,58
				Sem	TR2	37,21	55,69	50,36	52,82	47,49	51,67	54,20	55,32	57,82
			PD	Com	TR3	37,21	50,95	44,07	45,30	46,16	49,68	56,66	52,65	56,00
				Sem	TR4	37,21	54,13	42,18	51,39	48,03	48,46	54,01	48,49	50,26
		APU	PD	Com	TR5	39,86	47,26	47,37	48,56	57,81	61,27	57,25	60,31	61,25
				Sem	TR6	39,86	43,52	53,11	50,13	50,70	77,79	57,07	53,16	62,64
	L <sub>UASB1</sub>	FRG	PC	Com	TR7	47,81	68,15	66,66	68,32	70,41	72,03	68,00	64,00	62,05
				Sem	TR8	47,81	67,78	64,99	71,54	67,29	68,12	68,00	68,04	67,49
			PD	Com	TR9	47,81	54,60	49,59	53,97	37,31	51,18	52,50	53,00	54,06
				Sem	TR10	47,81	54,08	49,92	54,39	36,88	55,33	52,94	50,11	47,35
		APU	PD	Com	TR11	48,20	48,13	51,29	51,89	60,30	60,72	57,25	51,23	63,24
				Sem	TR12	48,20	49,24	52,47	51,63	56,31	74,23	57,07	48,99	61,31
	L <sub>UASB2</sub>	FRG	PC	Com	TR13	29,77	32,09	39,02	40,43	38,32	58,98	68,65	72,17	69,38
				Sem	TR14	29,77	39,92	40,44	39,24	39,32	56,73	71,87	72,12	80,24
			PD	Com	TR15	29,77	34,16	33,59	41,82	36,82	52,43	61,36	58,96	60,79
				Sem	TR16	29,77	36,06	31,48	38,02	32,67	51,27	50,28	49,83	47,34
Tanque e Séptico	APU	PC	Sem	TRA	39,86	57,83	70,21	85,70	77,30	93,12	87,18	80,57	84,12	
L <sub>UASB1</sub>	APU	PC	Sem	TRB	48,20	64,43	71,80	59,35	77,37	91,20	75,05	78,24	82,29	

NOTA: FRG: Fazenda Rio Grande; APU: Apucarana; PC: Pátio coberto; PD: Pátio descoberto; L<sub>UASB1</sub>: Lodo de UASB desaguado em leito de secagem; L<sub>UASB2</sub>: Lodo de UASB desaguado em centrífuga; t<sub>n</sub>: tempo decorrido em semanas

Foi realizada análise de variância (ANOVA) ao longo do tempo considerando os diferentes tipos de lodo, para amparar a análise dos fatores local, cobertura e revolvimento, no teor de sólidos totais.



### FATOR LOCAL

Na FIGURA 4.3 são apresentados os resultados do teor de sólidos totais ao longo do tempo, com intervalos de confiança de 95%, separados por tipo de lodo para as duas localidades.

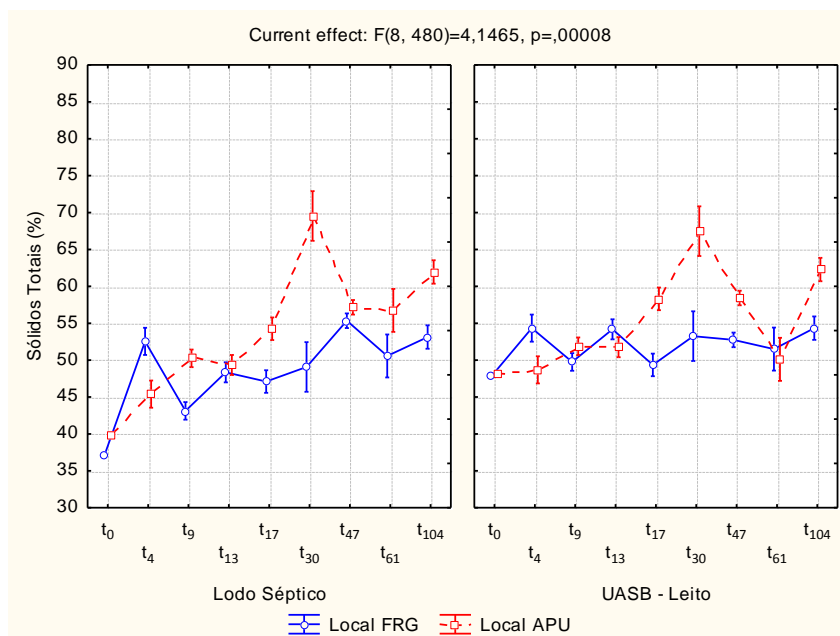


FIGURA 4.3 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR LOCAL

### FATOR COBERTURA

São apresentados os resultados de sólidos totais ao longo do tempo e os intervalos de confiança de 95%, separados por tipo de lodo (Figura 4.4).

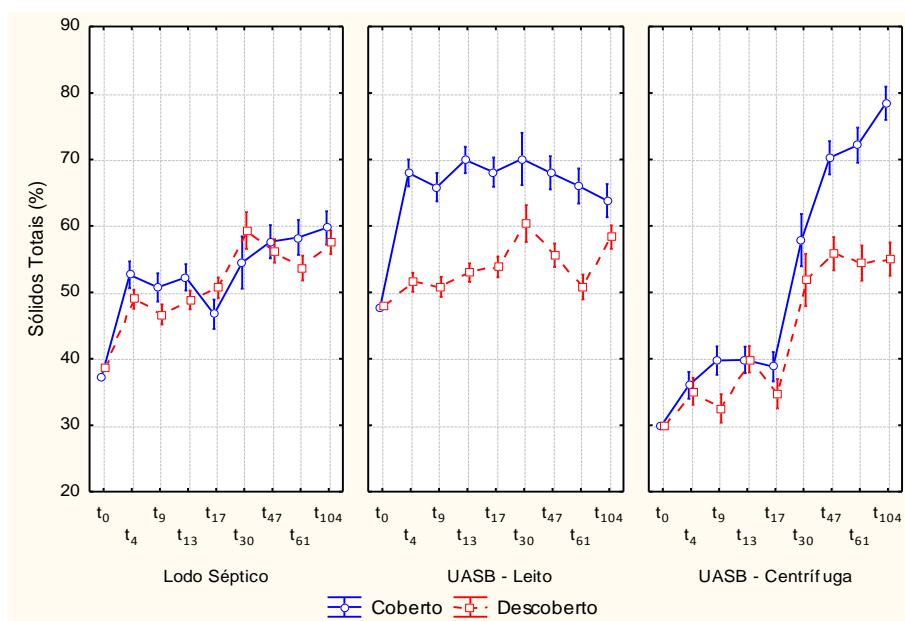


FIGURA 4.4 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR COBERTURA

## FATOR REVOLVIMENTO

São apresentados os resultados de sólidos totais ao longo do tempo e os intervalos de confiança de 95% (Figura 4.5) separados por tipo de lodo para o fator revolvimento com todos os dados e na Figura 4.6 somente com valores de pálio descoberto.

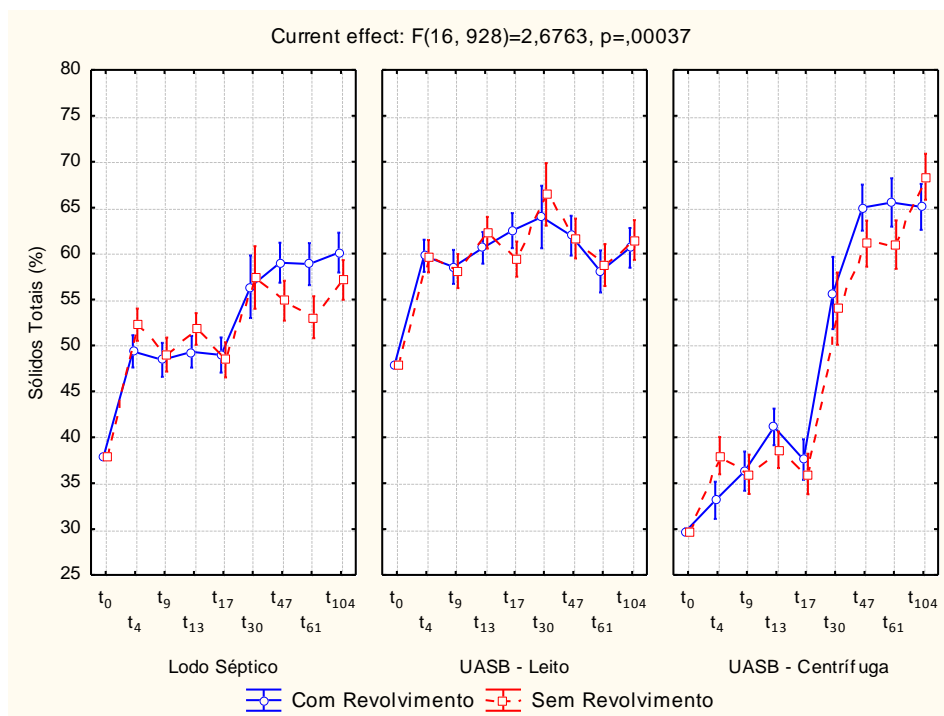


FIGURA 4.5 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO

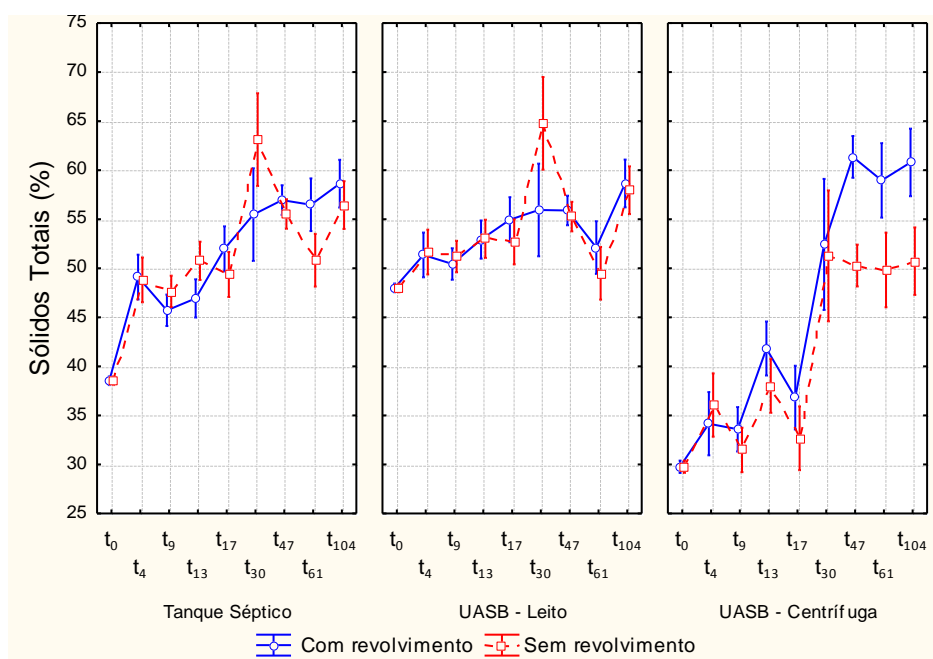


FIGURA 4.6 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE SÓLIDOS TOTAIS (%) E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO EM PÁTIO DESCOBERTO

### **a) Lodo de Tanque Séptico**

Ao final do período de estocagem, observa-se ainda um alto teor de umidade da massa dos lodos, variando de 49,74% (TR4) até 38,36% (TR6) (50,26 – 62,64 % ST) (Tabela 4.2). Nos tratamentos realizados em Fazenda Rio Grande, a diferença entre os tratamentos cobertos e descobertos (Figura 4.4) foi pequena, havendo alternância quanto ao teor de ST. Foram apontadas diferenças significativas em  $t_{30}$  e  $t_{61}$  no fator cobertura. Contudo, percebe-se a influência da cobertura na amostragem em 47 semanas, quando ocorre a elevação do teor de ST nos tratamentos protegidos das chuvas do período de verão. No período entre a 30<sup>a</sup> e 47<sup>a</sup> semana, correspondente aos meses de verão, a precipitação acumulada foi 278 mm em FRG. O teor de sólidos totais permaneceu mais elevado até o final do experimento.

Nos lodos tratados no município de Apucarana houve alternância. A perda de umidade foi mais acentuada no TR5 a partir da 17<sup>a</sup> semana ( $t_{17}$ ), período com menor incidência de chuvas e temperaturas amenas e após 30 semanas de tratamento foram obtidos os valores máximos durante todo o experimento, chegando a 77,8% de ST no TR6 e 62% em TR5, período de intensa radiação solar ( $460 \text{ W/m}^2$ ). No período entre a 30<sup>a</sup> e 47<sup>a</sup> semanas, correspondente aos meses de verão, a precipitação foi mais intensa, no mês de fevereiro choveu 412 mm em Apucarana. O lodo apresentou tendências de absorção e retenção de água, com aumento da umidade na massa do lodo. Na amostragem seguinte, 61<sup>a</sup> semana, o comportamento em relação ao teor de umidade no lodo foi similar, com leve redução (lodo séptico com revolvimento) em TR5 e aumento nos demais tratamentos realizados no município. Após 104 semanas de estocagem, os teores de ST no lodo séptico obtidos em TR5 e TR6 foram próximos a 62%.

O teste da ANOVA indicou haver diferenças significativas entre as localidades ( $p < 0,05$ ) na maior parte do período monitorado, a não ser em  $t_{13}$  e  $t_{47}$ . Nas quatro primeiras semanas a maior perda de umidade ocorreu com os lodos em Fazenda Rio Grande, após esse período a perda de umidade foi mais acentuada nos lodos em Apucarana até o término do monitoramento. O teor de sólidos totais no lodo séptico em Apucarana apresentou a tendência crescente até a 30<sup>a</sup> semana de secagem do lodo, com redução na 47<sup>a</sup> amostragem, decorrente das chuvas intensas.

É possível observar nos dados (Tabela 4.2) um comportamento semelhante entre os tratamentos (TR1 e TR2) e (TR3 e TR4) com lodo séptico em FRG, quanto a perda de umidade da massa de lodo. Os lodos revolvidos apresentaram uma concentração de sólidos totais discretamente maior em relação aos não revolvidos, havendo alternância no decorrer do experimento (FIGURA 4.5). Entretanto a diferença foi muito pequena, o que ficou confirmado com os resultados da ANOVA, que não apontaram diferença significativa entre a interação tempo e revolvimento ( $p > 0,05$ ). A perda da umidade para as duas condições se manteve sempre bem próxima ao intervalo de confiança de 95%.

A temperatura ambiente média foi mais elevada no município de Apucarana durante todo o período de monitoramento (Tabela 4.1), bem como a temperatura da massa do lodo séptico foi mais elevada nos tratamentos realizados nesse município. Entretanto, nas primeiras semanas, as temperaturas das massas nos lodos ficaram muito elevadas, chegando a temperaturas superiores a 35 °C, condição atribuída a decomposição da matéria orgânica mais elevada.

#### **b) Lodo de UASB desaguado em leito ( $L_{UASB1}$ )**

O lodo de UASB desaguado em leitos de secagem ( $L_{UASB1}$ ) apresentou teor inicial de sólidos totais elevado (50% ST), maior do que o apresentado na literatura e do que o encontrado neste trabalho (ver item 4.3.2.1). O lote utilizado na pesquisa foi formado num período aproximado de 2 meses (início de fevereiro a início de abril de 2012), ou seja, o desaguamento ocorreu durante o verão, com maior eficiência comparado a um ciclo de inverno. Além disso, durante o período de formação do lote (2 meses) houve perda de umidade.

Pode ser observado nos dados apresentados (Tabela 4.2) teor de sólidos maior nos lodos em tratamentos realizados em pátio coberto. Os tratamentos TR7 e TR8, em quatro semanas, já apresentavam concentrações de sólidos totais maiores que os demais tratamentos, 67-68%, valores que tiveram pouca alteração ao longo dos dois anos. A análise estatística evidenciou essas diferenças ( $p < 0,05$ ) (Figura 4.4) observadas em todos os tempos para o fator cobertura, onde a perda de umidade foi mais expressiva em pátio coberto, principalmente em  $t_4$ . A incidência de chuvas, acentuada nos primeiros meses em FRG, dificultou a secagem nas unidades desprotegidas. Em  $t_{47}$ , o teor de umidade nos lodos em pátio descoberto

aumentou, apresentando tendência de absorção e retenção de água em período marcado por intensa precipitação.

O baixo teor de ST observado em  $t_{17}$  pode ter sido influenciado pela chuva no dia da coleta, comprometendo a determinação deste parâmetro, sendo inferiores ao esperado em pátio coberto.

Em  $L_{UASB1}$  foram observadas diferenças significativas entre as localidades nas quatro primeiras semanas, com uma perda mais expressiva de umidade também nos lodos em Fazenda Rio Grande. A partir da coleta em  $t_{17}$ , período de estiagem em Apucarana, a perda maior de umidade ocorreu nos lodos neste município, mantendo-se até o final do período de monitoramento. Em  $t_{61}$  não foram apontadas diferenças estatísticas entre o teor de sólidos. Neste período, as chuvas foram intensas no município de Apucarana, dificultando a secagem do lodo.

### **c) Lodo de UASB desaguado em centrífuga ( $L_{UASB2}$ )**

No início do experimento o lodo de UASB desaguado em centrífuga apresentava maior teor de umidade do que os lodos de tanque séptico e o de UASB desaguado em leito, aproximadamente 70%. Após 4 semanas, o teor de umidade variou de 60 a 68%, já influenciado pelas diferenças nos tratamentos. Decorridas 104 semanas, observa-se redução da umidade mais acentuada nos tratamentos realizados em pátio coberto, com teor final variando de 20 a 31%, enquanto o teor de umidade nos tratamentos realizados em pátio descoberto, TR15 e TR16, eram de 37,34% e 52,66%, respectivamente.

Nas primeiras semanas do experimento, o lodo apresentava um aspecto mais pastoso, quase gelatinoso. A perda inicial de umidade no lodo de UASB centrifugado ( $L_{UASB2}$ ) foi mais lenta, o que foi observado também por Comparini (2001), com teor de umidade em torno de 60% até 17 semanas de tratamento. Em 30 semanas de experimento, com a concentração de ST acima de 50%, o lodo apresentou comportamento diferente, com aspecto bastante seco e compacto nos lodos sem revolvimento, formando “blocos” e dificultando inclusive a amostragem. Houve aumento crescente no teor de sólidos totais nos tratamentos em pátio coberto, enquanto nos tratamentos em pátio descoberto houve leve decréscimo no teor de sólidos totais, apresentando tendência de absorção e retenção de água. Essa característica pode estar relacionada ao polímero que se utiliza na centrifugação dos

lodos. Em  $t_{47}$ , o teor de umidade nos lodos em pátio descoberto aumentou. Nos dias que antecederam esta coleta, nos dois municípios, houve intensa precipitação.

O desaguamento dos lodos de tanques sépticos também foi realizado em centrífuga, o que pode ter influenciado a maior retenção de água e manutenção de teores ainda elevados de água mesmo após 104 semanas de tratamento. O aspecto inicial do lodo se assemelhava com o **LUASB2**, porém ao final do tratamento, as gretas formadas eram mais acentuadas no lodo de UASB. A chuva teve forte influência na variação de umidade dos lodos, sendo observada menor perda de umidade nos lodos em pátio descoberto nos meses com maior índice pluviométrico, principalmente nos primeiros meses em FRG.

Para o **LUASB2** (FIGURA 4.4), as diferenças significativas ocorreram em  $t_9$ ,  $t_{47}$ ,  $t_{61}$  e  $t_{104}$ . Os tratamentos realizados sob pátio coberto perderam mais umidade e o teor dos sólidos totais foi superior a 70% nesses tratamentos a partir da 47ª semana.

Entretanto, analisando os resultados de sólidos totais, por tratamento (Tabela 4.2), observa-se um comportamento diferenciado quando os lodos estão sob cobertura ou descobertos. Nos tratamentos realizados em pátio descoberto, o revolvimento teve maior influência na perda de umidade. Assim, foi realizado a ANOVA para o fator revolvimento somente com os resultados de ST em pátio descoberto (Figura 4.6). Os resultados da ANOVA apontam haver diferença significativa entre a interação tempo e revolvimento nos tratamentos realizados em pátio descoberto ( $p < 0,05$ ), corroborando com os resultados observados individualmente nos tratamentos no **LUASB2**. A diferença mais expressiva no revolvimento ocorreu entre os tratamentos TR14 e TR15, conduzidos em pátio descoberto, sendo o teor de sólidos maior no lodo revolvido desde  $t_9$ , com aumento acentuado no período de verão ( $t_{47}$ ). O incremento de sólidos totais nesse período também pode ser observado com os lodos de tanque séptico e **LUASB1**, porém mais discreto. O revolvimento do lodo expõe a camada inferior do perfil do lodo à superfície, proporcionando maior exposição solar e secagem mais rápida (ANDREOLI, 2001; COMPARINI e ALÉM SOBRINHO, 2003), sendo observado também neste trabalho nos tratamentos a céu aberto.

Em relação à secagem do lodo, foi possível concluir que entre os dois municípios, a perda de umidade foi mais acentuada em Apucarana em virtude das diferenças climatológicas, como temperatura ambiente mais elevada, menor

umidade relativa do ar e maior insolação, na maior parte do tempo ao longo dos dois anos de monitoramento.

Entre os tratamentos realizados em pátio coberto e descoberto, a secagem do lodo foi mais rápida e alcançou teores de sólidos totais maiores nas unidades experimentais sob cobertura, sendo a precipitação a condição que mais influenciou na perda de umidade dos lodos, sendo menor nas unidades desprotegidas.

O fator revolvimento teve pouca influência na secagem dos lodos em pátio coberto, tendo uma influência positiva nos tratamentos em pátio descoberto, mais acentuada no período de verão.

Na Tabela 4.3 é apresentada a síntese das melhores condições operacionais observadas por tratamento na redução da secagem do lodo, por tipo de lodo, bem como o resultado dos testes estatísticos realizados para os fatores local, revolvimento e cobertura ao longo do tempo.

TABELA 4.3 – MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA SECAGEM DO LODO (ST%)

		FATOR		
LODO		LOCAL	REVOLVIMENTO	COBERTURA (FRG)
TANQUE SÉPTICO	MELHOR CONDIÇÃO	Apucarana	Com revolvimento	Com cobertura
	ANOVA *	t <sub>4</sub> , t <sub>9</sub> , t <sub>17</sub> , t <sub>30</sub> , t <sub>61</sub> , t <sub>104</sub>	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>61</sub>
L <sub>UASB1</sub>	MELHOR CONDIÇÃO	Apucarana	-	Com cobertura
	ANOVA	t <sub>9</sub> , t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub>	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>4</sub> , t <sub>9</sub> , t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub> , t <sub>30</sub> , t <sub>47</sub> , t <sub>61</sub> , t <sub>104</sub>
L <sub>UASB2</sub>	MELHOR CONDIÇÃO	**	Com Revolvimento	Com Cobertura
	ANOVA*	-	t <sub>47</sub> , t <sub>61</sub> , t <sub>104</sub>	t <sub>9</sub> , t <sub>30</sub> , t <sub>47</sub> , t <sub>61</sub> , t <sub>104</sub>

Nota: \* teste de Fischer (p-valores); \*\*realizado somente em FRG; – sem diferença estatística

## 4.1.3 Relação entre sólidos voláteis e sólidos totais

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores médios da relação SVT/ST por tratamento, ao longo do experimento.

TABELA 4.4 – RELAÇÃO ENTRE SVT/ST, POR TRATAMENTO, AO LONGO DO EXPERIMENTO

DATA DE COLETA , PERÍODO CORRESPONDENTE E TEMPO (SEMANAS)															
	Tipo de Lodo	Co b	Rev	Tratamento	Abr/12	Abr-Mai/12	Mai-Jun/12	Jun-Jul/12	Jul-Ago/12	Out-Nov/12	Jan-Fev/13	Mai-Jun/13	Mar-Abr/14		
					t <sub>0</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>13</sub>	t <sub>17</sub>	t <sub>30</sub>	t <sub>47</sub>	t <sub>61</sub>	t <sub>104</sub>		
					0	04	09	13	17	30	47	61	104		
SVT/ST	Tanque Séptico	FRG	PC	Com	TR1	0,54	0,40	0,46	0,40	0,39	0,38	0,34	0,33	0,36	
				Sem	TR2	0,54	0,38	0,41	0,39	0,38	0,40	0,35	0,34	0,34	
			PD	Com	TR3	0,54	0,38	0,41	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,36	0,33
		Sem		TR4	0,54	0,44	0,40	0,40	0,38	0,39	0,39	0,39	0,36	0,35	
		APU	PD	Com	TR5	0,54	0,37	0,40	0,37	0,35	0,35	0,37	0,37	0,34	0,32
				Sem	TR6	0,54	0,41	0,39	0,37	0,37	0,35	0,37	0,37	0,35	0,29
	L <sub>UASB1</sub>	FRG	PC	Com	TR7	0,49	0,37	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	
				Sem	TR8	0,49	0,36	0,38	0,36	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39	
			PD	Com	TR9	0,49	0,39	0,39	0,37	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,35
		Sem		TR10	0,49	0,40	0,40	0,38	0,39	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	
		APU	PD	Com	TR11	0,49	0,40	0,36	0,31	0,35	0,36	0,38	0,38	0,34	0,34
				Sem	TR12	0,49	0,39	0,36	0,38	0,35	0,36	0,39	0,39	0,35	0,34
	L <sub>UASB2</sub>	FRG	PC	Com	TR13	0,63	0,42	0,41	0,40	0,40	0,39	0,36	0,34	0,36	
				Sem	TR14	0,63	0,41	0,45	0,43	0,39	0,42	0,38	0,33	0,38	
		PD	Com	TR15	0,63	0,41	0,38	0,41	0,40	0,40	0,36	0,36	0,36	0,34	
			Sem	TR16	0,63	0,42	0,39	0,42	0,40	0,44	0,39	0,39	0,35	0,36	
Tanque Séptico	APU	PC	Sem	TRA	0,54	0,38	0,36	0,34	0,33	0,35	0,36	0,33	0,22		
L <sub>UASB1</sub>	APU	PC	Sem	TRB	0,49	0,36	0,38	0,34	0,34	0,34	0,35	0,33	0,23		

NOTA: PC – Pátio coberto; PD – Pátio descoberto; SVT: Sólidos voláteis Totais; ST: Sólidos totais; tn: Tempo decorrido em semanas



A digestão anaeróbia promove a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, produzindo lodo anaeróbio já estabilizado (JEPSEN *et al.*, 1997; BOROWSKI e SZOPA, 2007). A relação entre sólidos voláteis e sólidos totais (SV/ST) indica a fração orgânica dos sólidos do lodo. Quanto maior essa relação, maior será a quantidade de matéria orgânica, que é a responsável pelo mau odor do lodo (ANDREOLI *et al.* 2001). Os lodos já estavam estabilizados e no decorrer do tempo foi possível evidenciar que a estocagem dos três tipos de lodo promoveu uma redução gradual na concentração dos sólidos voláteis (SV) em relação aos sólidos totais (ST), mais acentuada nas quatro primeiras semanas.

A relação SV/ST no lodo séptico de 54% no início do experimento diminuiu para valores entre 30 e 35% ao final; em  $L_{UASB1}$ , a redução foi de 49% para 34 – 39% e em  $L_{UASB2}$ , de 66% para valores entre 34 e 38%, indicando a mineralização gradativa de compostos orgânicos presentes e estabilidade do lodo submetido a secagem, com bom nível de digestão, principalmente pela redução de umidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Comparini (2001), com valores de até 51,34% em lodo aeróbio submetido a secagem em estufa agrícola por 84 dias.

Para a destinação agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado é considerado estável para a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais inferior a 0,70 (BRASIL, 2006), o que foi observado desde o início do experimento tanto para o lodo séptico como para os lodos oriundos de reator UASB desaguados de formas distintas.

#### 4.1.4 Potencial Hidrogeniônico – pH

Na FIGURA 4.7, FIGURA 4.8 e FIGURA 4.9, são apresentadas as variações temporais do pH dos lodos submetidos aos 16 tratamentos com os três tipos de lodo ao longo das 104 semanas de estocagem. Em  $t_0$  e  $t_4$  foram realizadas amostras compostas dos lodos de FRG, para cada tipo, e em  $t_0$  amostras compostas nos tratamentos realizados em Apucarana. Após esses períodos as amostras foram realizadas para cada unidade experimental e feitas as médias por tratamento.

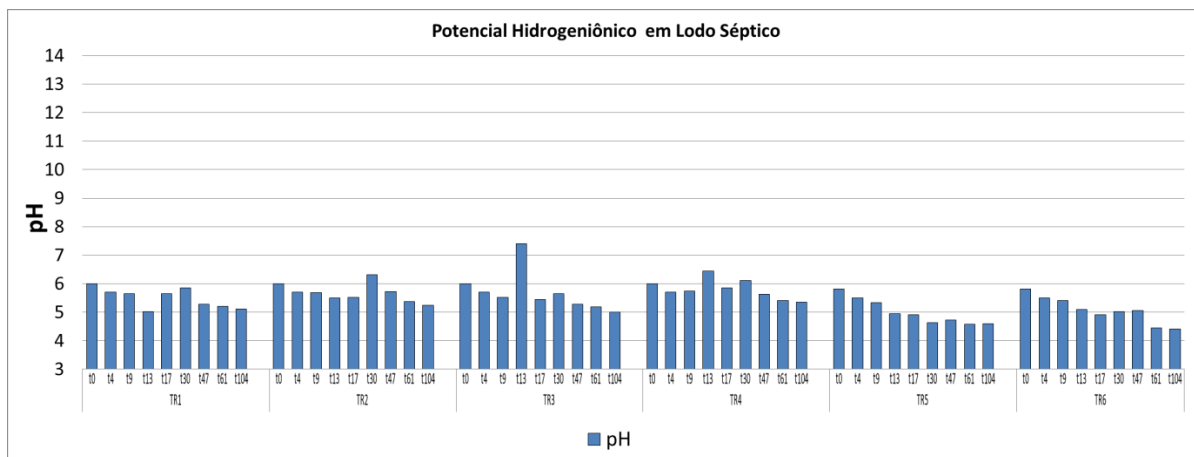


FIGURA 4.7 – VARIAÇÃO TEMPORAL DO pH EM LODO DE TANQUE SÉPTICO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR4) E APUCARANA (TR5 E TR6)

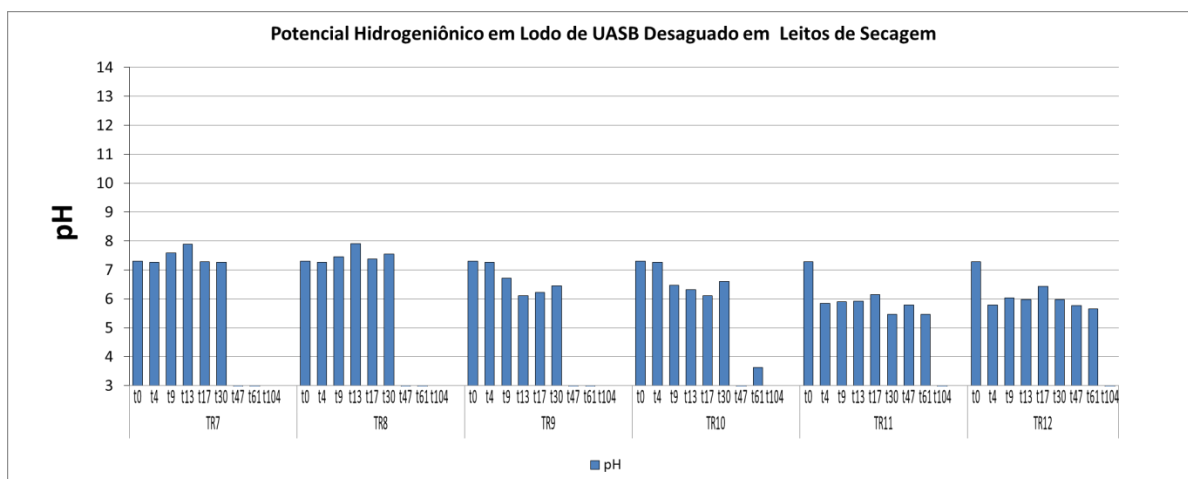


FIGURA 4.8 – VARIAÇÃO TEMPORAL DO pH EM  $L_{UASB1}$  EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR4) E APUCARANA (TR5 E TR6)

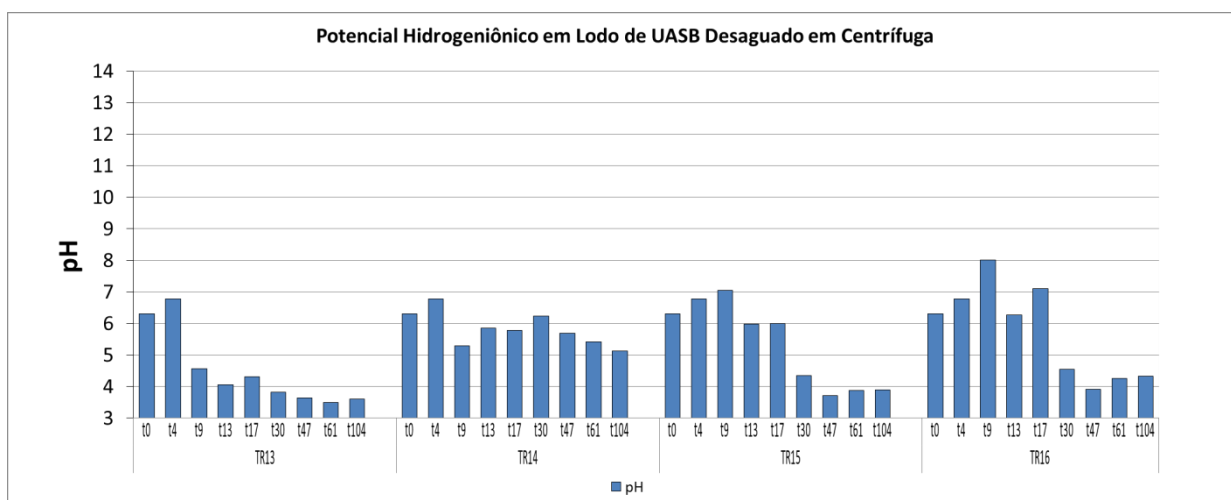


FIGURA 4.9 – VARIAÇÃO TEMPORAL DO pH EM  $L_{UASB2}$  EM FAZENDA RIO GRANDE (TR13, TR14, TR15, TR16)

### **a) Lodo de tanque séptico**

O pH do lodo séptico manteve-se neutro a levemente ácido durante todo o experimento nos tratamentos realizados em FRG, com tendência a redução gradativa ao longo do tempo, tendo como 6 o valor inicial. Meneses *et al.* (2001) encontraram valores de 6,8 e Belli *et. al* (2002) encontraram 6,9 em lodos provenientes de fossas sépticas, variando entre 5 e 6 ao final do experimento. Nos tratamentos com lodo séptico em Apucarana, a variação do pH foi maior: de 5,8 a valores entre 4 e 5 após dois anos.

### **b) Lodo de UASB desaguado em Leito ( $L_{UASB1}$ )**

Quanto ao lodo de UASB-Leito, o pH manteve-se neutro na maior parte do tempo, entre 7 e 8, nos tratamentos em pátio coberto em FRG, enquanto nos tratamentos em pátio descoberto houve leve tendência à redução até pH 6. Nos tratamentos realizados em Apucarana, a variação foi maior: abaixo de 6 nas primeiras 4 semanas e entre 5 e 6 após dois anos.

Comportamento similar em lodo de UASB, por longo períodos, também foi observado por Barony (2011). O pH do lodo de reator UASB estocado em valas sofreu redução de 7 para 5 - 6 após 4 meses de estocagem. Foi observada redução nos valores de pH em lotes de lodos aeróbios e anaeróbios nas Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGLs) do interior do Paraná, da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), com idade de 10 a 11 meses (BITTENCOURT, 2014) e também por Lima (2010), enquanto que para Comparini (2001), após 1 ano de estocagem de lodo em valas, os valores aumentaram gradativamente.

A redução de pH no lodo de esgoto, por ser um produto rico em matéria orgânica, provém da formação de ácidos orgânicos e reações de nitrificação de nitrogênio amoniacal já presente no lodo ou gerado na mineralização de nitrogênio orgânico (YAN *et al.*, 1996; FERNANDES e SOUZA, 2001). O lodo de esgoto com pH baixo pode ser aplicado em solos eutróficos, que não necessitam de corretivo de acidez.

### **c) Lodo de UASB desaguado em centrífuga ( $L_{UASB2}$ )**

No  $L_{UASB2}$ , o pH inicial era de 6,31 e apresentou leve tendência a aumento até pH na faixa de 7,0 – 8,0 nas primeiras nove semanas nos tratamentos em pátio descoberto. A partir dessa data, foi observada tendência ao decaimento até valores bastante baixos, entre 3,5 e 4 após dois anos de estocagem, sendo pH 3,5 o menor

valor observado em TR13 ao final do experimento, valores menores comparados aos lodos séptico e ao L<sub>UASB1</sub>.

#### 4.1.5 Coliformes termotolerantes

Neste item são apresentados e discutidos os resultados da concentração de coliformes em lodo de esgoto, em um período de dois anos de estocagem. A apresentação dos resultados está separada por tipo de lodo, de duas formas.

Na primeira, estão representados graficamente (valores máximos e médios) por tipo de lodo, para cada tratamento (16 tratamentos), nos dois municípios onde foram realizados o experimento, juntamente com a temperatura média e umidade relativa do ar, temperatura do lodo e teor de sólidos totais correspondentes ao período (Tabela 4.10) em nove campanhas amostrais.

- lodo de tanque séptico em FRG (TR1, TR2, TR3 e TR4) (FIGURA 4.10) e em Apucarana (TR5 e TR6) (FIGURA 4.11);
- L<sub>UASB1</sub> em FRG (TR7, TR8, TR9, TR10) (FIGURA 4.13) e em Apucarana (TR11 e TR12) na FIGURA 4.12;
- L<sub>UASB2</sub> em FRG (TR13, TR14, TR15, TR16) (FIGURA 4.14).

Na segunda, os resultados são apresentados graficamente, separados por tipo de lodo, mas com os tratamentos agrupados por avaliação dos fatores local (FIGURA 4.15), cobertura (FIGURA 4.16) e revolvimento (FIGURA 4.17).

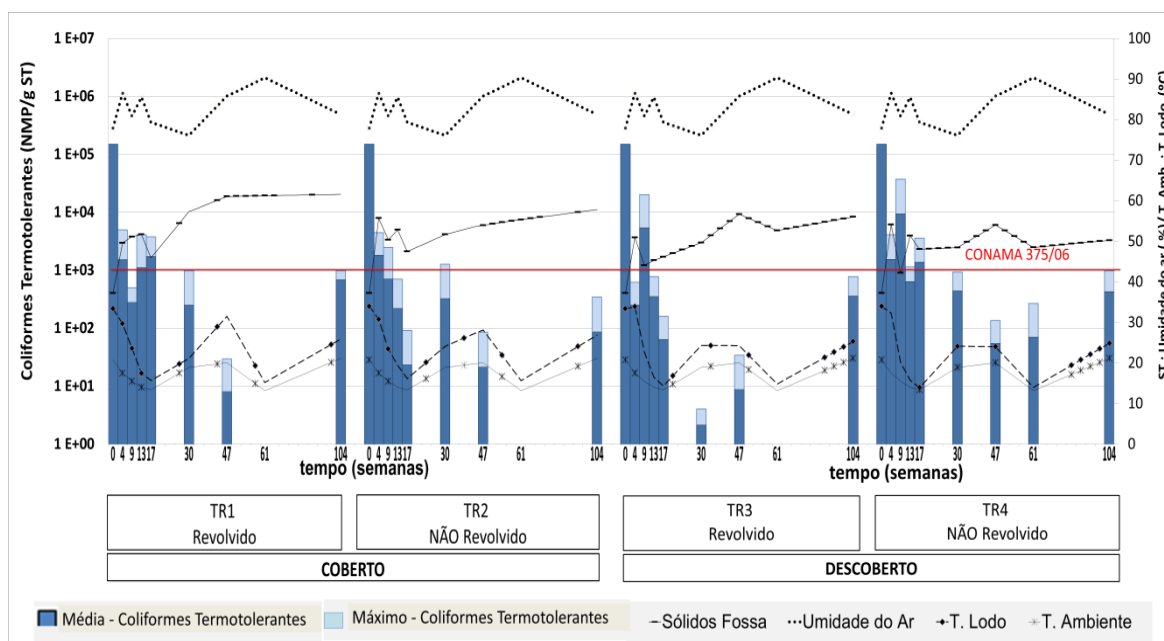


FIGURA 4.10 – CONTAGEM DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LODO DE TANQUE SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR4)

NOTA: TR – Tratamento; em t<sub>47</sub> foi extrapolado 1 dado, referente a uma unidade experimental nos tratamentos TR1, TR3 E TR4 ; As médias representadas no gráfico, em cada amostragem, corresponde a 4 análises individuais.

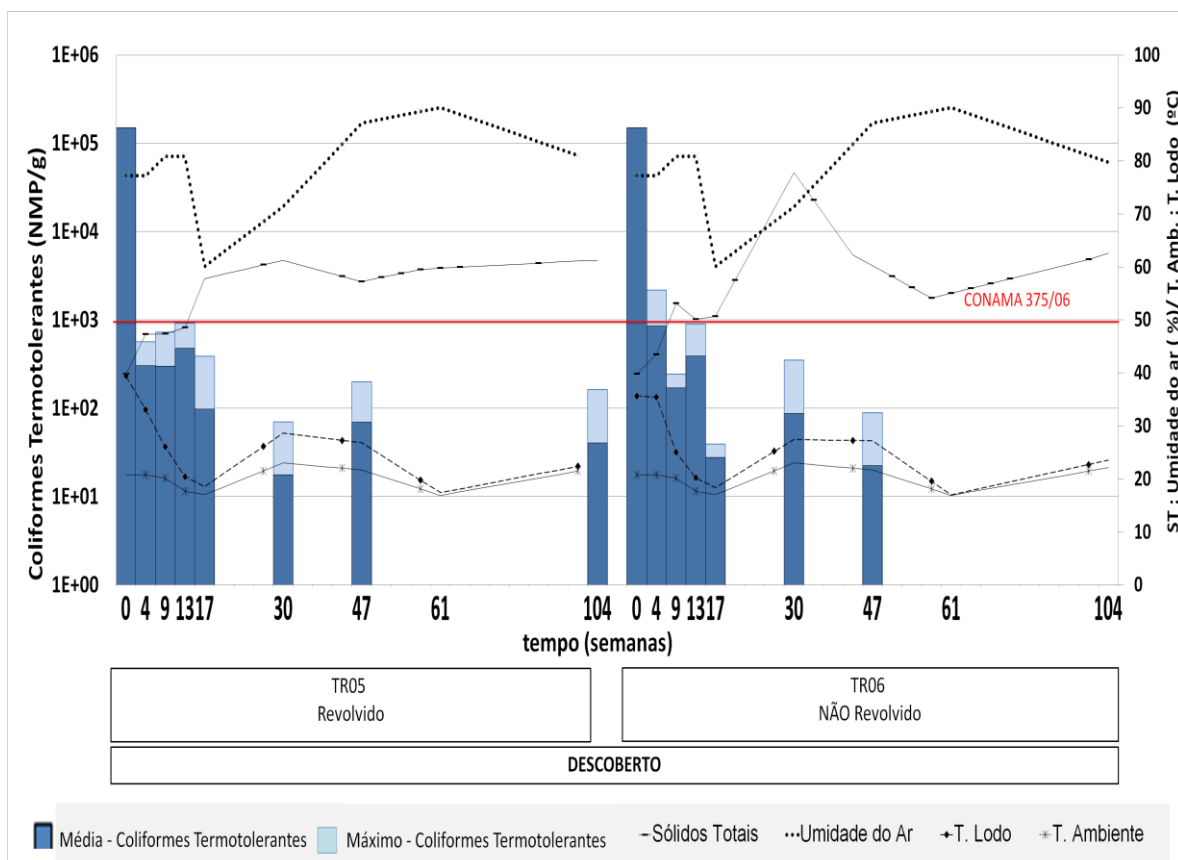


FIGURA 4.11 – CONTAGEM DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LODO DE TANQUE SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR5, TR6)

NOTA: TR – Tratamento; As médias representadas no gráfico, em cada amostragem, corresponde a 4 análises individuais.

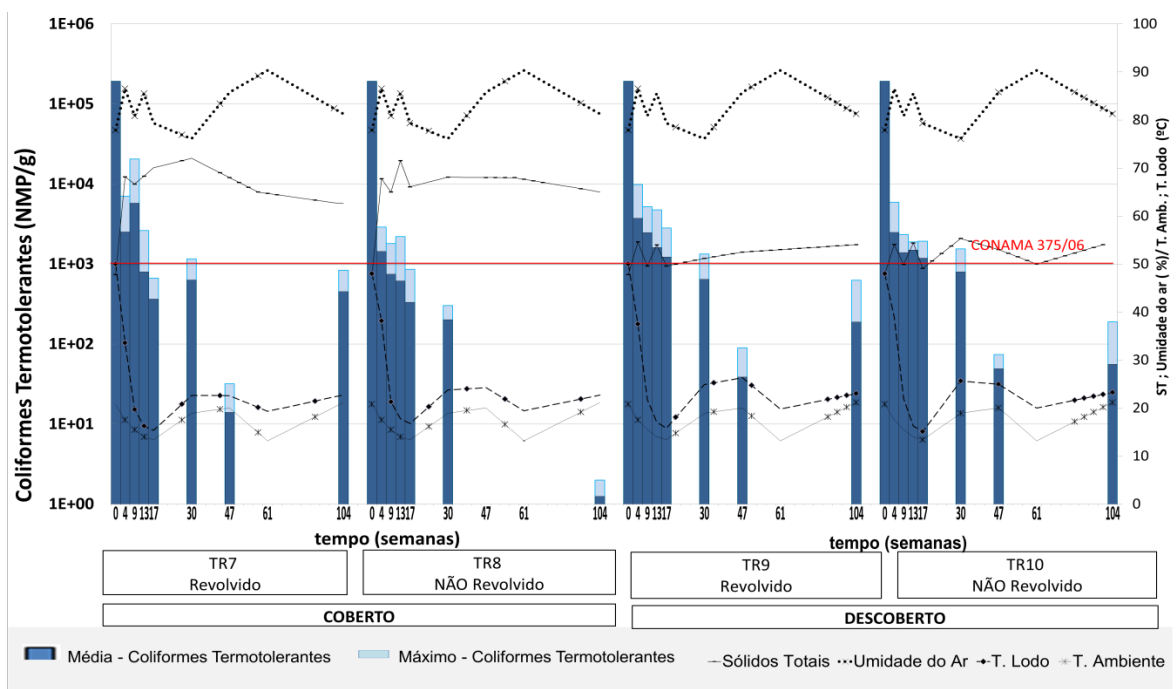


FIGURA 4.12 – EVOLUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LUASB1 AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR7, TR8, TR9, TR10)

NOTA: TR – TRATAMENTO;

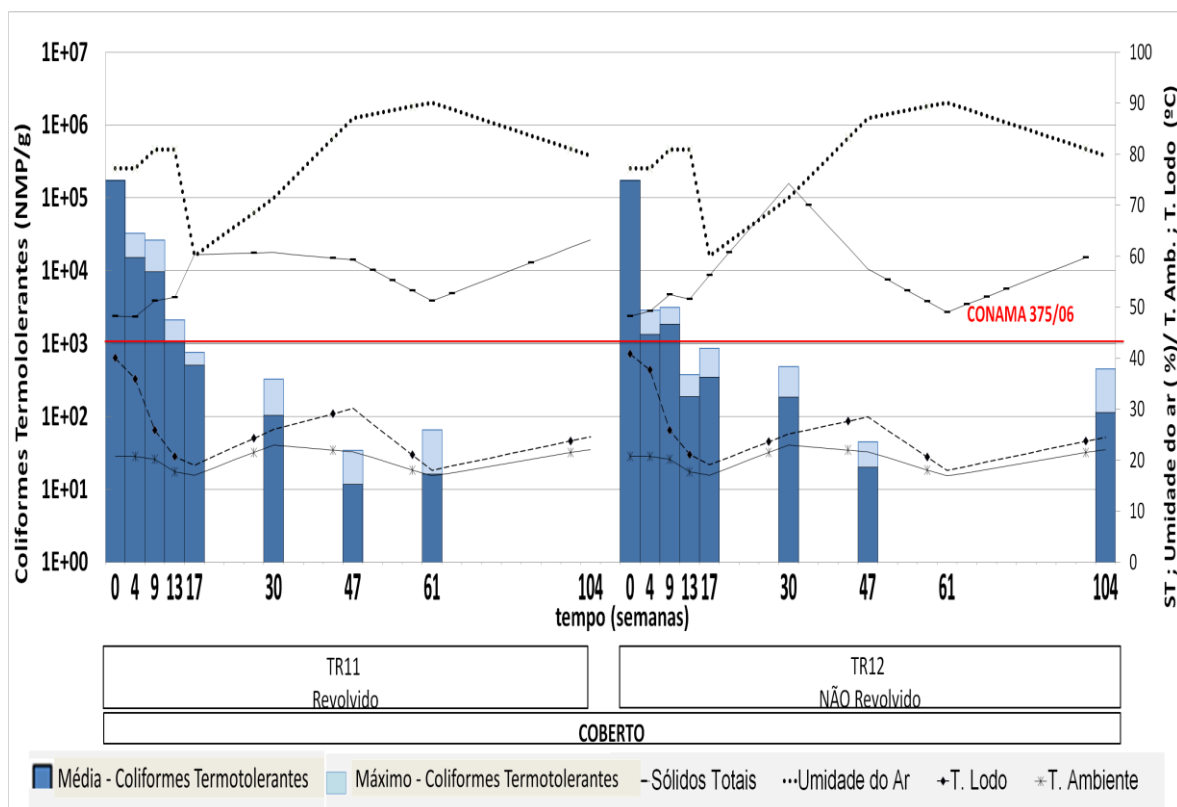


FIGURA 4.13 – EVOLUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES LUASB1 AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR11, TR12)  
NOTA: TR – TRATAMENTO;

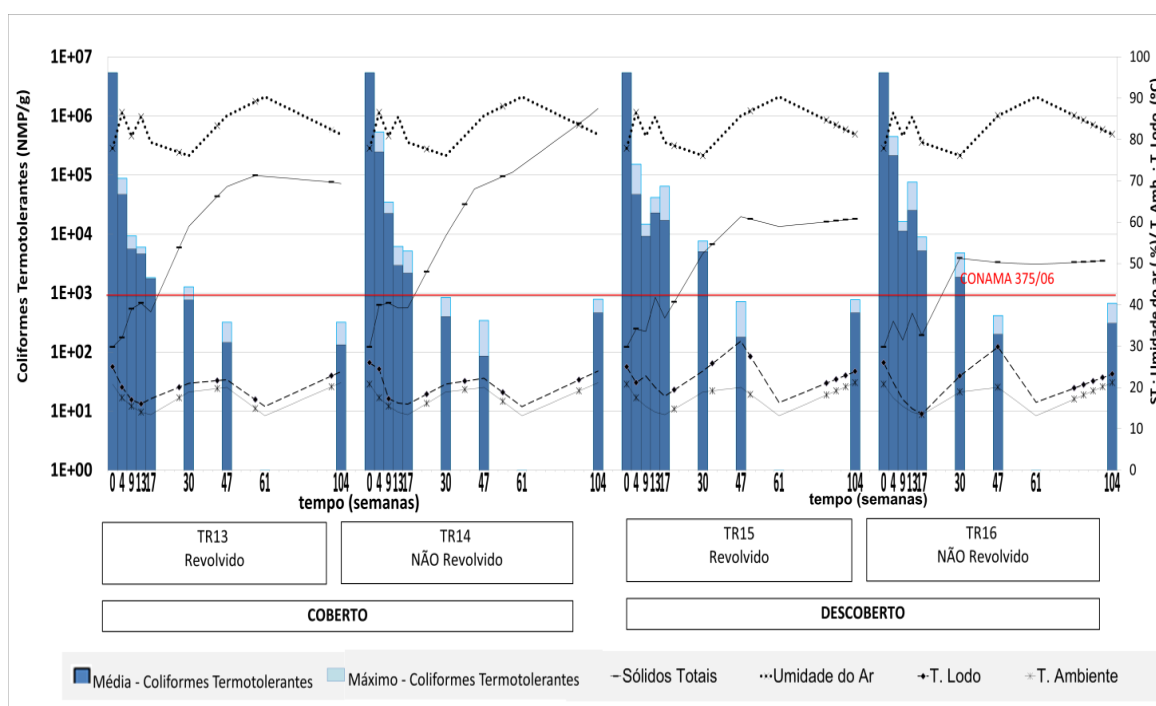


FIGURA 4.14 – EVOLUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES LUASB2, AO LONGO DO TEMPO, NOS TRATAMENTOS EM FAZENDA RIO GRANDE (TR13, TR14, TR15, TR16)  
NOTA: TR – TRATAMENTO; NÃO FOI REALIZADA ANÁLISE EM 61 SEMANAS.

### FATOR LOCAL

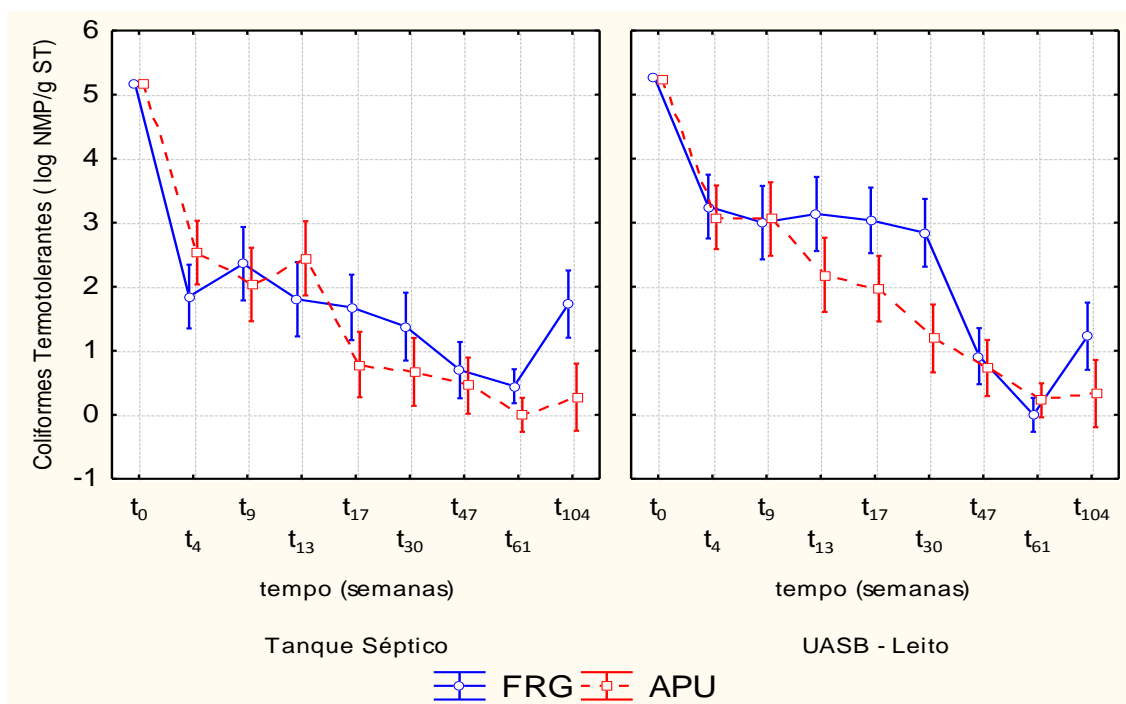


FIGURA 4.15 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA O FATOR LOCAL

NOTA: Não foram realizadas análises do parâmetro em lodo de UASB- Leito em  $t_{61}$  nos tratamentos realizados em Fazenda Rio Grande

### FATOR COBERTURA

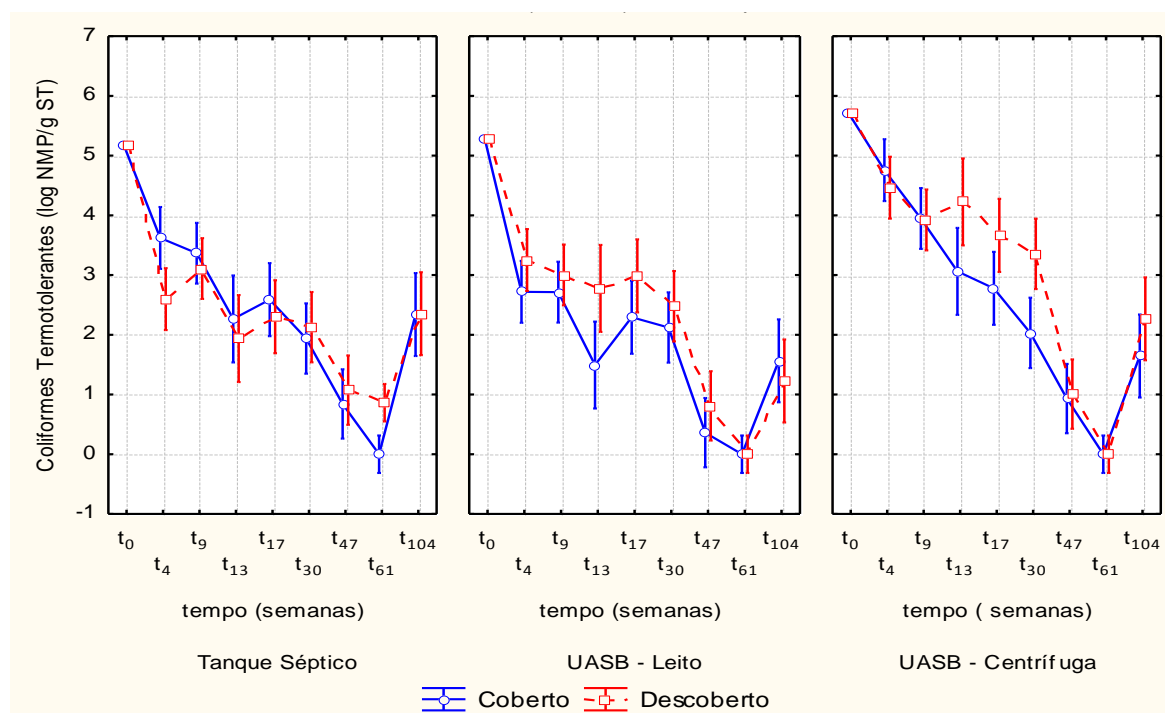


FIGURA 4.16 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA O FATOR COBERTURA

## FATOR REVOLVIMENTO

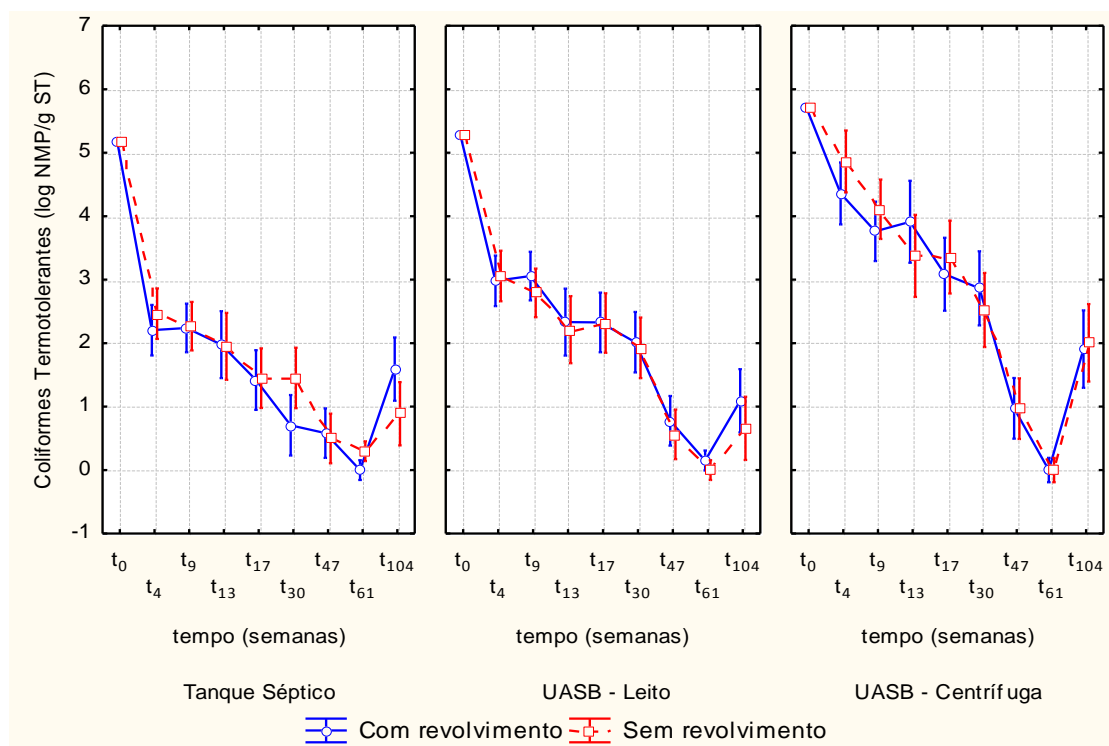


FIGURA 4.17– PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO POR TIPO DE LODO

### 4.1.5.1 Concentração inicial de coliformes termotolerantes nos lodos de esgoto

A contagem inicial de coliformes termotolerantes no lodo séptico foi da ordem de  $10^5$  NMP/g ST, dentro da faixa reportada por Ingunza *et al.*, (2009) ( $10^4 - 10^8$  NMP/g ST), para lodos de tanques sépticos de diversas regiões do país e por Da Silva Jr *et al.* (2015) ( $10^5 - 10^7$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>) em lodo séptico da região metropolitana de Goiânia. Essa concentração é inferior a encontrada por Santos (2010) e Ratis (2009), que detectaram densidades variando de  $10^6$  e  $10^7$  NMP/g ST em lodo séptico e Meneses *et al.* (2001), que encontraram  $3,2 \times 10^7$  em lodo de tanques sépticos da cidade de Natal/RN. Também na cidade de Natal, Gonçalves (2008) encontrou concentrações na ordem de  $10^6$  e  $10^7$  UFC/100 ml.

A concentração inicial da bactéria se encontrava na ordem de  $10^5$  NMP/g ST no lodo desaguado em leitos de secagem, semelhante ao encontrado por Correia (2015) em lodos ativados desaguados em leito de secagem por 3 meses em ETE localizada no Estado da Bahia. Almeida *et al.* (2006) encontraram  $1,3 \times 10^7$  NMP de coliformes termotolerantes em lodo oriundo de reator UASB, que permaneceu três



meses em leitos de secagem para desaguamento, em ETE localizada no Estado do Paraná.

No lodo  $L_{UASB2}$  a concentração inicial de coliformes termotolerantes era de  $10^6$  NMP/g ST, com 70% de umidade (FIGURA 4.14), valores inferiores aos reportados por Bastos *et al.* (2009), em concentrações típicas da bactéria em lodos de esgotos oriundos de UASB, das ordens de  $10^7$  -  $10^8$  NMP/g ST.

O desaguamento do lodo de UASB em leitos de secagem por 30 dias contribuiu para valores menores da bactéria, em relação aos típicos encontrados em lodo de esgoto, conformes resultados apresentados no item 4.3 deste trabalho.

#### 4.1.5.2 *Evolução da contagem de coliformes termotolerantes nos lodos de esgoto por estocagem prolongada*

O decaimento mais expressivo na densidade dos microrganismos ocorreu nos 30 primeiros dias ( $t_4$ ) em todos os tratamentos, 2 e 3 ordens de grandezas logarítmicas. Decaimento acentuado da bactéria, em poucas semanas, também foi observado por Lima (2009) em lodo de esgoto sem cal submetido a tratamento em estufa agrícola. No ciclo realizado no verão, a bactéria decaiu de  $1,1 \times 10^4$  NMP/g ST para  $4,3 \times 10^1$  em 14 dias e para 3,6 NMP/g ST em 28 dias. No ciclo realizado em meados de abril, com temperaturas mais amenas, a redução foi menor: de  $4,6 \times 10^3$  NMP/g ST foi para  $9,3 \times 10^1$  NMP/g ST em 14 dias e, em 28 dias, a densidade observada foi de  $2,4 \times 10^2$  NMP/g ST.

##### **a) Lodo de tanque séptico**

As melhores condições observadas quanto a higienização do lodo para este parâmetro foram nos tratamentos realizados em PD em Apucarana. Em 4 semanas ( $t_4$ ) de tratamento, as concentrações estavam abaixo de  $10^3$  NMP/g ST, limite estabelecido no Brasil através da Resolução Conama 375/2006 para obtenção de lodo Classe A para coliformes termotolerantes. A exposição da bactéria às condições ambientais locais favoreceram seu decaimento, principalmente ao fator solar, a irradiância medida foi de  $403 \text{ W/m}^2$  no período. As baixas concentrações da bactéria mantiveram-se ao longo de todo o experimento nos dois tratamentos realizados em Apucarana. A bactéria é a mais sensível, dentre os microrganismos avaliados, a exposição solar, como reportado por Shanahan *et al.* (2010). Após esse período, a redução foi mais lenta, mas a população da bactéria se manteve inferior a

$10^3$  NMP/g ST. A perda de umidade no período não foi expressiva. O teor de sólidos totais foi de 40% no início para 47% e 43 %, em TR5 e TR6, respectivamente. Observando a FIGURA 4.10 e a FIGURA 4.11 podemos notar a diferença entre o decaimento da bactéria dos dois municípios. No tratamento realizado em pátio coberto (PC), o decaimento da bactéria foi mais lento, atendendo a Resolução em 17 semanas.

A diferença entre as localidades (FIGURA 4.15) no decaimento da bactéria foi confirmado pela ANOVA realizada, que indicou haver diferença significativa por diferentes tipos de lodo nas duas localidades ( $p < 0,05$ ). As diferenças significativas foram apontadas em  $t_4, t_{13}, t_{17}, t_{30}$  nos tratamentos com lodo séptico.

Em Fazenda Rio Grande, o decaimento da bactéria, após as 4 primeiras semanas de estocagem, ocorreu de forma mais lenta. Nos tratamentos realizados sob cobertura (TR1 e TR2), o tempo para que o lodo atingisse valores inferiores a  $10^3$  NMP/g ST foi de 30 e 9 semanas, respectivamente, enquanto nos tratamentos realizados em pátio descoberto (TR3 e TR4), o tempo para alcançar esses valores foi de 13 e 30 semanas, respectivamente. Os resultados apresentaram maior variabilidade, não sendo apontadas diferenças significativas quando dispostos em pátio coberto ou não, ao longo do tempo. Apenas em 61 semanas, quando as concentrações, em grande parte das unidades experimentais, estava abaixo do limite detecção, nos tratamentos em pátio coberto (FIGURA 4.16). Contudo, o tratamento realizado sob cobertura e sem revolvimento (TR2) foi o mais eficiente. A umidade do lodo foi reduzida de 62% para 50% nesse tratamento, o lodo encontrava-se estabilizado e o pH entre 5 e 6. Em TR1, concentração similar foi obtida nesse tempo ( $t_9$ ), porém, em 17 semanas, ocorreu um aumento da densidade média da população da bactéria, elevando a concentração para  $1,74 \times 10^3$  NMP/g ST. O período anterior a  $t_{17}$  foi de pouca precipitação, mas as amostras estavam com umidade mais elevada, decorrentes de pancada de chuva no dia da coleta. Gibbs *et al.* (1997) investigaram o recrescimento de coliformes fecais e *Salmonella* em lodo armazenado e em solo que recebeu bio-sólido. Houve o decaimento para as duas bactérias durante o período de verão, tanto no lodo armazenado quanto nos ensaios de correção do solo. Contudo, foi observado o recrescimento de ambas as bactérias no início do inverno, após 50 dias de armazenamento seguido de chuvas.

Foram necessárias 30 semanas de tratamento ( $t_{30}$ ) no lodo séptico em Fazenda Rio Grande para alcançar valores abaixo de  $10^3$  NMP/g ST em todos os

tratamentos (FIGURA 4.10). Tempos mais longos, para alcançar valores similares, foram obtidos por Kafer (2015), que encontrou em lodo oriundo de tanques sépticos concentrações de *Escherichia coli* de  $2,4 \times 10^6$  NMP/g. Após passar por processo de higienização por *wetlands* piloto, um plantado com *Cyperus papyrus* (WP) e outro com *Typha domingensis*, a densidade de *Escherichia coli* foi de  $3,0 \times 10^4$  NMP/g e *Salmonella* spp. de  $1,6 \times 10^3$ . Após 11 meses em repouso no sistema, a densidade de *Escherichia coli* foi reduzida para valores  $< 10^2$  NMP/g ST nos dois sistemas e não foi detectada presença de *Salmonella*, bem como de ovos viáveis de helmintos. Não foi realizada a contagem de ovos no início do experimento. A autora também observou o decaimento do pH de 7 para valores próximos a 6 durante todo o monitoramento da segunda fase (11 meses), indicando que o período de repouso e as reações bioquímicas que ocorrem durante este, principalmente a oxidação de frações de matéria orgânica remanescente, proporcionaram uma pequena acidificação do lodo.

Em relação ao revolvimento, o decaimento da bactéria em lodo séptico ocorreu de forma similar nas duas condições (FIGURA 4.17), com maior variabilidade nos resultados obtidos e alternância da densidade em algumas unidades experimentais, com redução e posterior aumento, não sendo apontadas diferenças estatísticas significativas neste fator ( $p > 0,05$ ).

Ao final do experimento  $t_{104}$ , ocorreu aumento na concentração das bactérias nos dois municípios, porém mais acentuado em FRG.

#### b) Lodo de UASB-Leito ( $L_{UASB1}$ )

Reduções mais significativas na população dos coliformes termotolerantes, também ocorreram nos primeiros 30 dias para o lodo de reator UASB desaguado em leitos de secagem, de  $10^5$  NMP/g ST para  $10^3$  NMP/g ST em ambos os municípios de forma similar (FIGURA 4.13 e FIGURA 4.12).

A melhor condição observada quanto ao tempo de higienização do lodo, para coliformes termotolerantes, foi obtida em TR8, tratamento realizado em Fazenda Rio Grande sob pátio coberto e sem revolvimento. Concentrações inferiores a  $10^3$  NMP/g ST foram obtidas em 9 semanas ( $t_9$ ) de tratamento no lodo. Em TR7, tratamento realizado sob cobertura em FRG e com revolvimento, o lodo atingiu o padrão de sanidade em 13 semanas ( $t_{13}$ ), mesmo tempo que nos tratamentos realizados em Apucarana TR11, TR12 (pátio descoberto) (FIGURA 4.13) e TRB

(pátio coberto). Na FIGURA 4.16, pode ser observada a menor concentração em lodo coberto na maior parte do tempo. A ANOVA apontou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) e, pelo teste de Fisher, essas diferenças ocorreram em 13 ( $t_{13}$ ) e 17 semanas ( $t_{17}$ ) no fator cobertura.

A precipitação teve forte influência nos lodos em pátios descobertos, mantendo a umidade do lodo e diminuindo a velocidade no decaimento na bactéria em Fazenda Rio Grande.

As diferenças estatísticas entre as localidades foram apontadas de  $t_{13}$  até  $t_{30}$ , com o decaimento da bactéria, que foi mais acentuado no município de Apucarana em pátio descoberto.

Esses resultados confirmam a citação de BONNET *et al.* (1998) que as concentrações de bactérias são reduzidas de maneira significativa pela radiação solar e secagem do lodo. A destruição da bactéria foi mais efetiva no município de Apucarana, onde a radiação solar é maior (Tabela 4.1). Houve diferenças significativas quanto ao parâmetro sólidos totais nestes tempos (FIGURA 4.3). A desidratação do lodo foi mais acentuada em Apucarana, porém, em teores mais baixos (55 – 60%) do que os apontados na literatura quanto a relação de eficiência do decaimento de bactérias com o teor de sólidos totais.

A condição mais desfavorável ocorreu nos tratamentos TR9 e TR10 (FRG). Os valores de coliformes termotolerantes foram alcançados em 30 semanas, em atendimento ao Conama 375/2006 para lodo Classe A. Gibbs *et al.* (1995) não encontraram a bactéria em lodo de esgoto armazenado após 34 semanas, entretanto observaram o recrescimento em 52 e 53 semanas, em período chuvoso.

A baixa população da bactéria se manteve em todos os tratamentos até o final do experimento. Apesar de ter havido recrescimento ou recontaminação na última amostragem ( $t_{104}$ ), as concentrações observadas mantiveram-se abaixo de  $10^3$  NMP/g ST. Já Gantzer *et al.* (2001) observaram aumento de E.coli aos valores iniciais, entre 6 e 8 meses de estocagem de lodo desidratado, após ter havido decaimento em lodo desidratado até 6 meses de estocagem e ausência de *Salmonella*, no período do verão.

O recrescimento em algumas das unidades experimentais ocorre devido às condições ambientais favoráveis (SIDHU e TOZE), como altas temperaturas e chuvas (GIBBS *et al.*, 1997; ZALESKI, *et al.*, 2005) observadas na fase final do monitoramento (março e abril de 2014) nos municípios. As temperaturas médias

observadas foram 21 e 22 °C e as temperaturas máximas, 30 e 32 °C, em FRG e APU, respectivamente, além do período de chuvas (final do verão e início do outono), e da alta umidade do ar (80%), favorecendo a persistência das bactérias e o seu aumento. A recontaminação por fezes de animais é possível em vista da presença deles no ambiente da ETE. O teor de sólidos totais correspondente, nos tratamentos, variou de 54 a 78%.

### **c) Lodo de UASB desaguado em centrifuga ( $L_{UASB2}$ )**

O decaimento da densidade das bactérias no lodo ocorreu nas primeiras semanas, porém não tão acentuado como nos tratamentos com os outros lodos apresentados, sendo mais lento a partir da nona semana (FIGURA 4.14). Não foi observada maior elevação da temperatura do lodo inicialmente, ao contrário do ocorrido com os lodos de tanque séptico e UASB-Leito.

Em 30 semanas ( $t_{30}$ ), as concentrações nos tratamentos realizados em pátio coberto estavam abaixo de  $10^3$  NMP/g ST. Nos tratamentos realizados em pátio descoberto foram necessárias 47 semanas de tratamento dos lodos para alcançar o padrão estipulado pela Resolução 375/2006 do Conama.

Num período de tempo um pouco maior, 51 semanas, Comparini (2001) obteve concentrações da ordem de  $2 \times 10^3$  NMP/g ST em bio-sólido estocado em duas valas (3 m de largura, 6 m de comprimento e 1 m de profundidade). A redução da concentração das bactérias, nessas condições, foi 2,16 log.

As diferenças apontadas no fator cobertura em  $L_{UASB2}$  ocorreram de 13 a 30 semanas de estocagem. Até 9 semanas, o decaimento ocorreu de forma similar nas duas condições e de forma mais lenta, comparada ao decaimento com os lodos de tanque séptico e de UASB-Leito. A partir de  $t_{47}$ , as concentrações nas duas condições mantiveram-se abaixo de  $10^3$  NMP/g em densidades semelhantes, não sendo apontadas diferenças significativas até o final da pesquisa.

Na amostragem realizada em  $t_{104}$  foi observada concentração similar ou levemente superior comparada à última para este parâmetro, realizada em  $t_{47}$ , mantendo-se inferior a  $10^3$  NMP/g ST.

Os lodos revolvidos apresentaram menor umidade ao longo do tempo, entretanto a diferença foi muito pequena, comparados aos não revolvidos, não apresentando diferenças significativas. O revolvimento do lodo expõe a camada inferior do perfil do lodo à superfície, proporcionando maior exposição solar e

secagem mais rápida e, conseqüentemente, redução de organismos patogênicos (ANDREOLI, 2001; COMPARINI e ALÉM SOBRINHO, 2003). Entretanto, os resultados desta pesquisa não apontaram diferenças significativas entre o parâmetro coliformes termotolerantes e a variável revolvimento nos tratamentos realizados. Contudo, não foi observada esta condição nos tratamentos realizados no município de Apucarana, tanto com lodo de tanque séptico quanto com o lodo de UASB-Leito, ao contrário, o tratamento que não passou pelo processo de revolvimento apresentou melhores resultados, mas não apresentaram diferenças estatísticas. Esses resultados também foram observados por Bueno (2000), indicando os tratamentos não revolvidos como mais eficientes na redução de bactérias.

#### Resumindo

- Ao final de 104 semanas de estocagem do lodo nos 18 tratamentos, as concentrações de coliformes termotolerantes estavam abaixo de  $10^3$  NMP/g ST. Os resultados encontrados indicam que a estocagem prolongada proporcionou a redução deste microrganismo a níveis seguros para a utilização agrícola do lodo nas condições a que foram submetidos.
- Entre as localidades, a bactéria mostrou-se mais sensível às condições ambientais de Apucarana, quando expostas a céu aberto.
- Quanto ao fator cobertura, o decaimento foi mais rápido nos tratamentos realizados sob cobertura quando comparados aos expostos a céu aberto em Fazenda Rio Grande em lodo de UASB, desaguados de diferentes formas.
- Quanto ao fator revolvimento, o decaimento da bactéria foi similar em ambas as condições, com e sem revolvimento, não se apresentando como um diferencial no tempo de decaimento das bactérias.

Na Tabela 4.5, é apresentada a síntese das melhores condições operacionais observadas por tratamento na redução de coliformes termotolerantes por tipo de lodo, bem como o resultado dos testes estatísticos realizados para os fatores local, revolvimento e cobertura ao longo do tempo.

TABELA 4.5 – MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA REDUÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES

		FATOR		
LODO		LOCAL	REVOLVIMENTO	COBERTURA (FRG)
TANQUE SÉPTICO	MELHOR CONDIÇÃO	Apucarana	não foi observada	Com cobertura
	ANOVA *	* t <sub>4</sub> , t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub> , t <sub>30</sub>	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>61</sub>
L <sub>UASB1</sub>	MELHOR CONDIÇÃO	Apucarana	não foi observada	Com cobertura
	ANOVA	t <sub>9</sub> , t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub>	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub> , t <sub>30</sub> ,
L <sub>UASB2</sub>	MELHOR CONDIÇÃO	**	não foi observada	Com Cobertura
	ANOVA*	-	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub> , t <sub>30</sub> , t <sub>104</sub>

Nota: \* teste de Fischer (p-valores); \*\*realizado somente em FRG; – sem diferença estatística

#### 4.1.6 *Salmonella* spp.

Para o destino agrícola do lodo, o CONAMA 375/06 prevê ausência de *Salmonella* em 10 gramas de sólidos totais, contudo, para a observação do decaimento da bactéria ao longo do tempo optou-se pelo monitoramento utilizando a contagem das bactérias e comparando com os limites para a densidade do organismo especificado segundo a EPA (2004), que estabelece 3 NMP/4 g de ST (Número Mais Provável por 4 gramas de Sólidos Totais). Na última amostragem (t<sub>104</sub>) foi avaliada ausência ou presença da bactéria.

Neste item são apresentados e discutidos os resultados da concentração de coliformes em lodo de esgoto em um período de dois anos de estocagem. A apresentação dos resultados está separada por tipo de lodo, de duas formas.

Na primeira, os resultados obtidos para *Salmonella* sp e respectivo teor de sólidos totais (Tabela 4.10) estão representados:

- FIGURA 4.18 – lodo de tanque séptico em FRG (TR1, TR2, TR3 e TR4) e Apucarana (TR5 e TR6) (FIGURA 4.11);
- FIGURA 4.19 – L<sub>UASB1</sub> em FRG (TR7, TR8, TR9, TR10) (FIGURA 4.13) e em Apucarana (TR11 e TR12) na FIGURA 4.12;
- FIGURA 4.20 – L<sub>UASB2</sub> em FRG (TR13, TR14, TR15, TR16) (FIGURA 4.14).

Na análise estatística, os dados de  $t_0$  foram desconsiderados em virtude dos valores de lodo séptico neste tempo. Os tratamentos foram agrupados por tipo de lodo, para avaliação dos fatores local (FIGURA 4.21), cobertura (FIGURA 4.22) e revolvimento (FIGURA 4.23), utilizando a estatística para amparar a discussão e avaliar as diferentes condições metodológicas testadas na higienização dos lodos em um menor tempo possível.

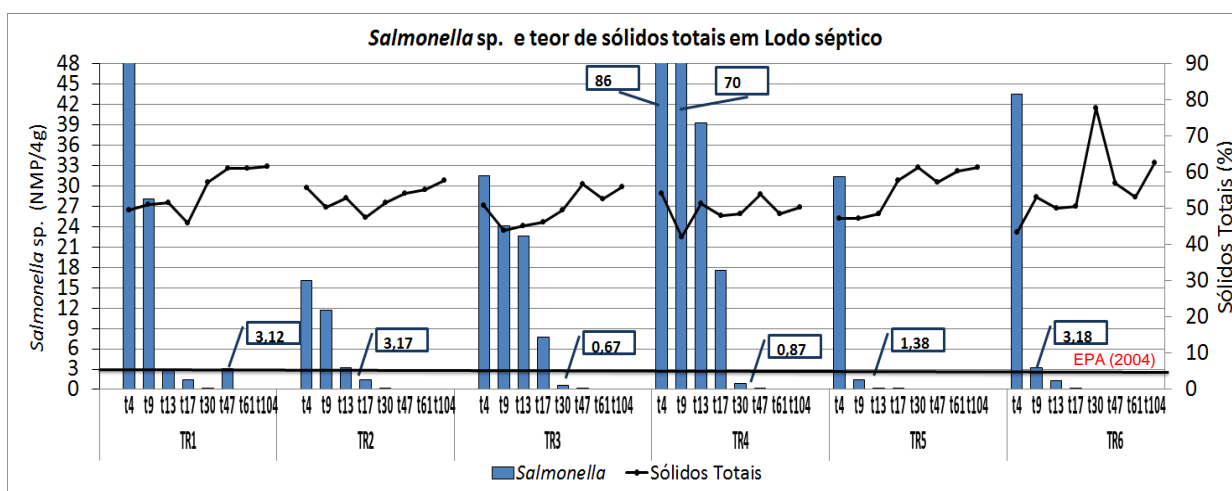


FIGURA 4.18 – EVOLUÇÃO DE *Salmonella* EM LODO DE TANQUE SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO NOS TRATAMENTOS TR1, TR2, TR3 E TR4 EM FAZENDA RIO GRANDE, TR5 E TR6 EM APUCARANA

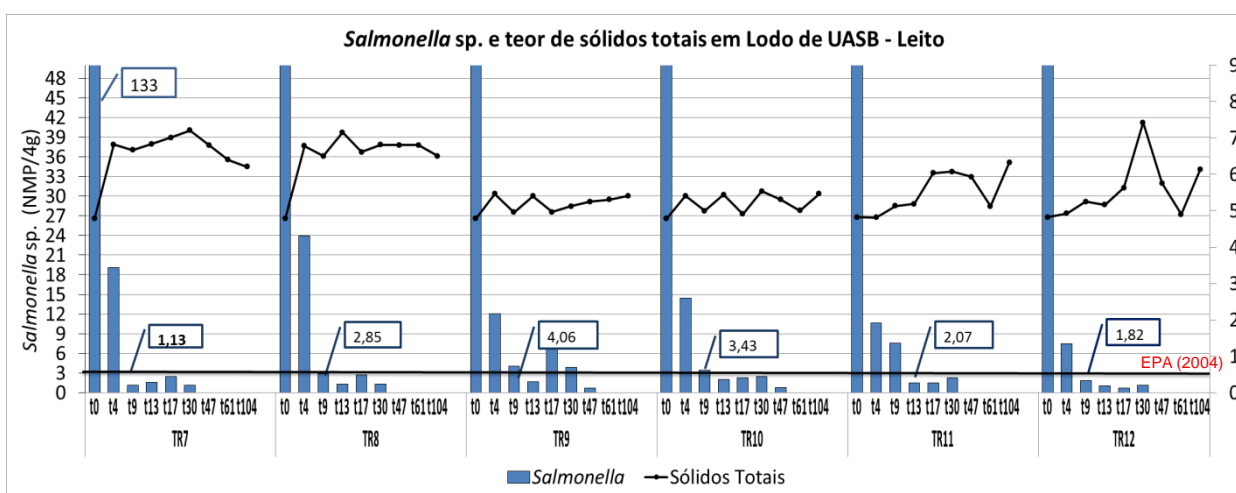


FIGURA 4.19 – EVOLUÇÃO DE *Salmonella* EM LODO DE UASB –LEITO AO LONGO DO TEMPO NOS TRATAMENTOS TR7, TR8, TR9, TR10 EM FAZENDA RIO GRANDE, TR11 E TR12 EM APUCARANA



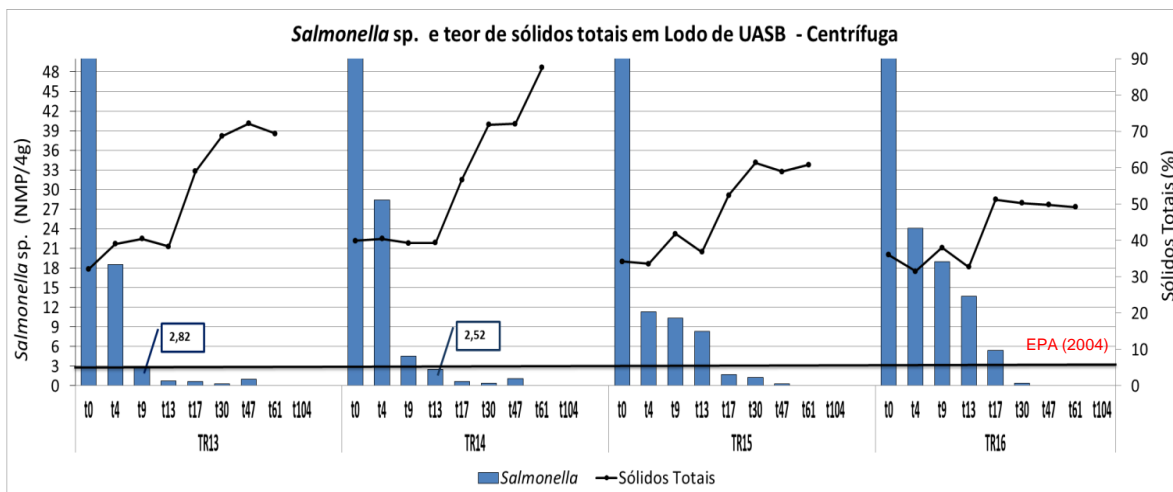


FIGURA 4.20 – EVOLUÇÃO DE *Salmonella* EM LODO DE UASB DESAGUADO EM CENTRÍFUGA AO LONGO DO TEMPO NOS TRATAMENTOS EM FAZENDA RIO GRANDE

### FATOR LOCAL

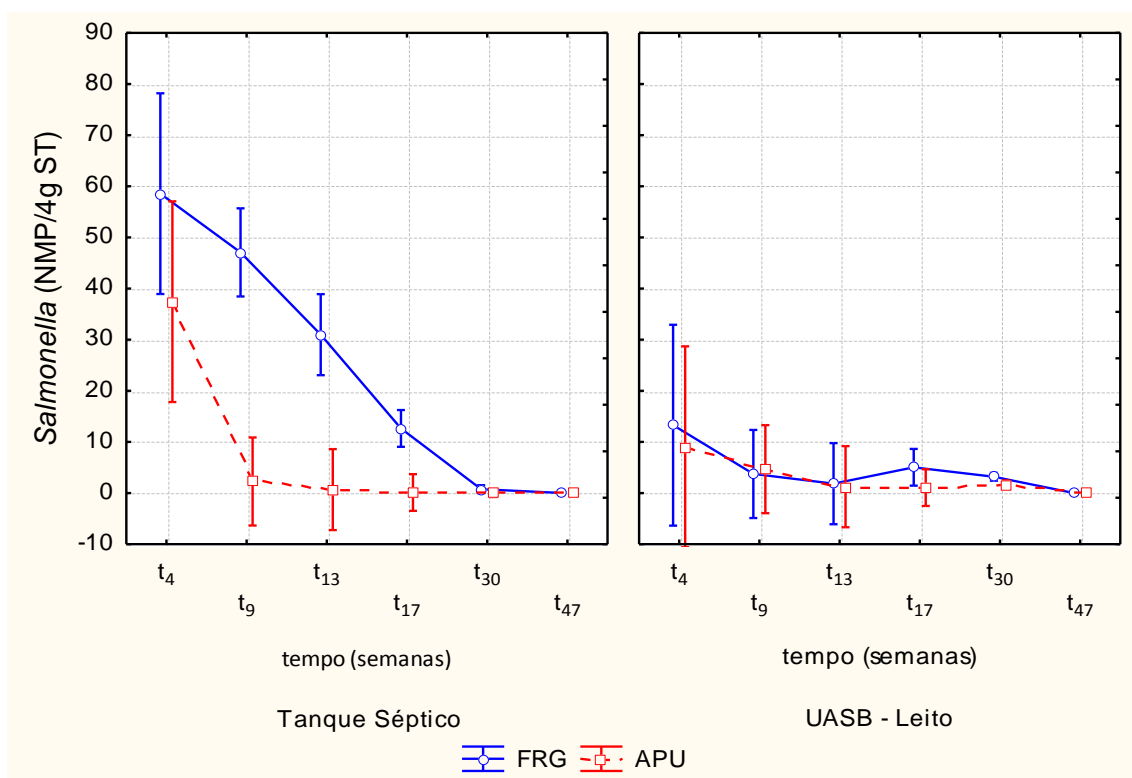


FIGURA 4.21 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE *Salmonella* NOS LODOS, PARA O FATOR LOCAL, COM INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95%

### FATOR COBERTURA

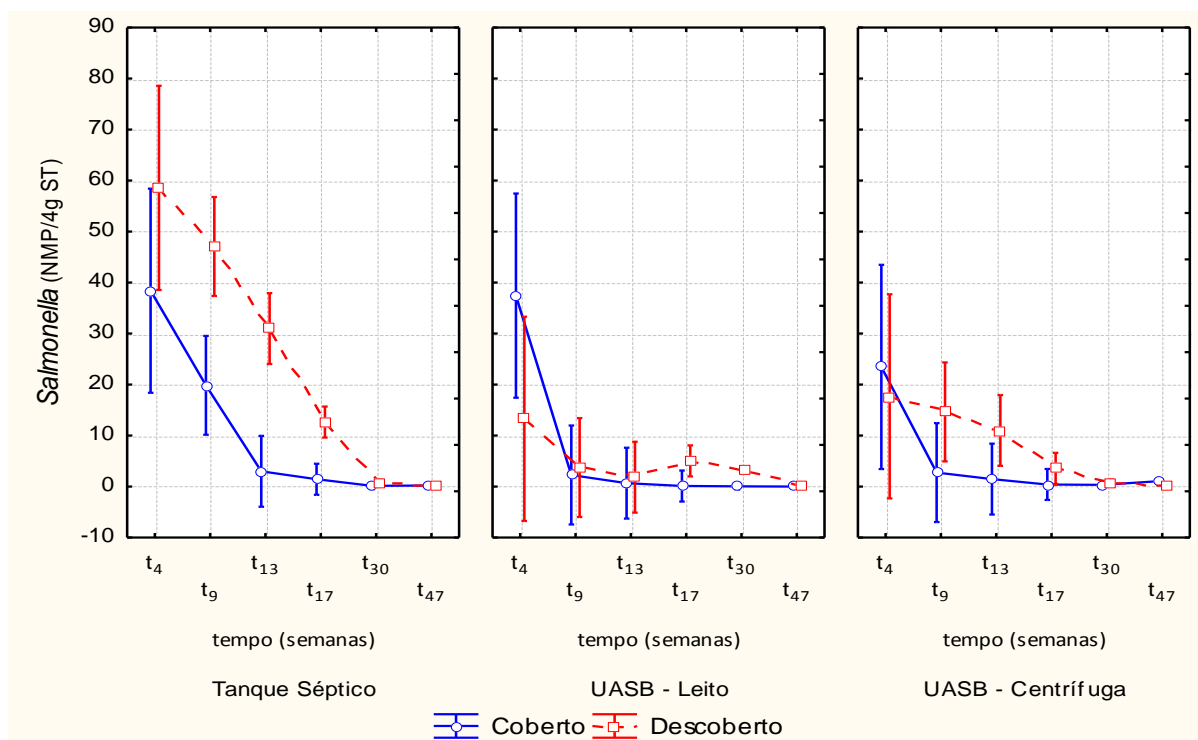


FIGURA 4.22 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE *Salmonella* NOS LODOS, PARA O FATOR COBERTURA, COM INTERVALO DE 95%

### FATOR REVOLVIMENTO

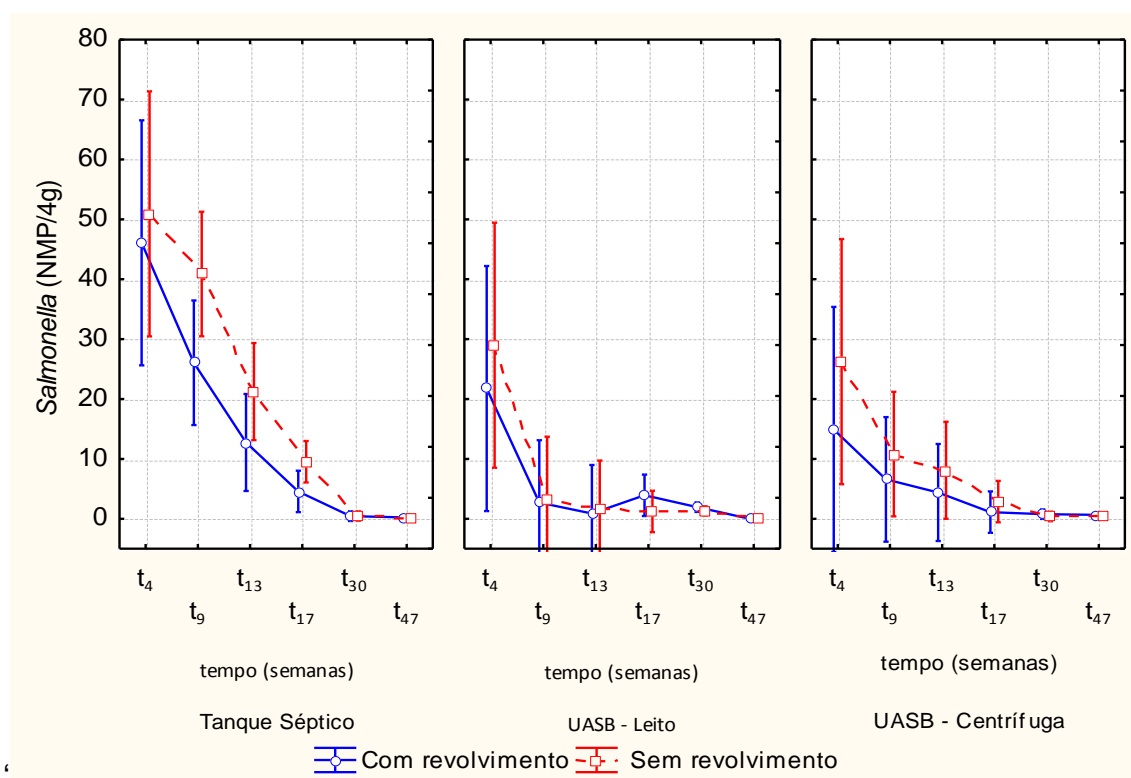


FIGURA 4.23 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE *Salmonella* E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, PARA O FATOR REVOLVIMENTO POR TIPO DE LODO

#### 4.1.6.1 Concentração inicial de *Salmonella* spp. nos lodos de esgoto

Os resultados das amostras de lodo séptico em  $t_0$  para o parâmetro *Salmonella* não foram considerados devido a adaptação do laboratório e problemas com a diluição das amostras. A densidade da bactéria em quatro semanas variou de 4 NMP/g ST (16 NMP/4 g de ST) a 21,5 NMP/g ST (86 NMP/4 g ST) (FIGURA 4.18). Resultados superiores foram reportados por Ingunza *et al.* (2009) em lodo séptico, variando de  $10^2$  a  $10^4$  NMP/g ST. A contagem inicial de *Salmonella* no lodo de UASB-Leito foi de 33,47 NMP/g ST, resultado semelhante ao obtido por Serenotti (2009), que detectou quantidades variando de 4 a 126 NMP/4 g ST em lodo anaeróbio desaguado pelo mesmo processo na cidade de Limeira/SP. Concentrações nessa faixa,  $10^2$  a  $10^4$  NMP/g, estão dentro das reportadas por Bastos *et al.* (2009), em lodo de UASB. Marques *et al.* (2000) obtiveram 9,12 NMP/g ST no lodo de esgoto da ETE Barueri, em SP. Já Comparini (2002) não detectou a presença da bactéria em amostra ao longo do experimento com biossólido disposto em valas de estocagem por 70 dias, contudo, após 4 meses, em experimento com estufa agrícola na mesma ETE, foi detectada presença na 2ª e 3ª repetições, de 3 realizadas.

Sidhu e Toze (2009) relatam que em geral *Salmonella* spp. é encontrada, em lodos de esgoto tratados com valores menores (1– 52 UFC/g ST) em relação ao observado para coliformes fecais ( $10^5$ – $10^6$  UFC/g ST).

As maiores concentrações encontradas na literatura foram as reportadas por Espericueta e Gonzáles (2008) em lodo de esgoto de uma ETE de Juarez, México, na ordem de  $10^{13}$  NMP/g ST, e JIMENEZ *et al.* (2000), no mesmo país, em ETEs na Cidade do México, com concentrações da ordem de  $10^{10}$  NMP/g ST. No Brasil, densidades elevadas foram obtidas por Oliveira (2013),  $1,67 \times 10^9$  UFC/g ST e Santos (2011),  $1,82 \times 10^7$  UFC/g ST, na mesma ETE, situada na Bahia, em períodos distintos. Em estudos realizados no Estado do Paraná, Santos *et al.* (2011) e Almeida *et al.* (2006) não detectaram a presença da bactéria em lodo de reator UASB, nos municípios de Irati e Maringá, respectivamente. Em estudo anterior, Fernandes e Andreoli (1999) detectaram a presença de *Salmonella* spp. em 3 de 17 amostras de lodo aeróbio da ETE Belém - Curitiba/PR.

Ao comparamos a frequência e a contagem de *Salmonella* spp. nas amostras analisadas neste estudo com os valores dessa bactéria em estudos realizados em

outras regiões do país, verificamos elevada variabilidade nos resultados. Essas diferenças, como relatado anteriormente, podem ser explicadas pelas diferenças nas condições socioeconômicas e sanitárias da população e pela contaminação da mesma; pela região geográfica; pela diversidade de patógenos presentes no lodo; pela natureza do esgoto e o tipo de tratamento efetuado (PIETRONAVE *et al.*, 2004; de Silva, 2003; USEPA, 2003; SIDHU *et al.*, 2001; SALEEM, 2001; THOMAZ-SOCCOL, 1998; FERNANDES *et al.*, 1996). Além disso, diferentes compostos orgânicos e inorgânicos encontrados nos lodos de esgoto podem atuar como inibidores ou mesmo como promotores do crescimento bacteriano (SAHLSTRÖM, 2004). A digestão anaeróbia apresenta eficiência variável na remoção de *Salmonella* sp e na maior parte das vezes os lodos conterão o microrganismo (PIKE, 1981).

#### 4.1.6.2 Evolução da contagem de *Salmonella* spp. por estocagem prolongada

##### a) Lodo de tanque séptico

O decaimento da *Salmonella* sp. em lodo séptico foi mais rápido nos tratamentos realizados em Apucarana (FIGURA 4.18). Observa-se uma redução acentuada já de  $t_4$  para  $t_9$ , 35 para 1,38 NMP/4 g em TR5 (47% ST), e de 40 para 3,18 NMP/4 g em TR6 (53%). Em 9 e 13 semanas, para estes tratamentos, respectivamente, os valores obtidos já estavam abaixo de 3 NMP/4 g ST. A ausência em 10g de ST, limite estabelecido no Brasil através da Resolução Conama 375/2006, foi alcançado em 13 semanas no TR5 e 17 semanas no TR6.

Na análise temporal, a ANOVA realizada indicou haver diferença significativa nas duas localidades ( $p < 0,05$ ) para diferentes tipos de lodo (FIGURA 4.21). Foi realizado o teste post hoc de Fisher, teste da diferença mínima significativa (least significant). Foram apontadas diferenças significativas no fator local com lodo séptico desde  $t_4$  até  $t_{17}$ . A bactéria teve decaimento bem mais rápido nos tratamentos realizados em Apucarana, que apresentaram melhores resultados comparados aos realizados em Fazenda Rio Grande na destruição da *Salmonella*. O teor máximo de ST (%) ocorreu em 30 semanas de tratamento, em TR5 e TR6, atingindo 61,27% e 77,79 %, respectivamente. Neste período, já havia sido observada a ausência da bactéria em quase todas as unidades experimentais.

Nos tratamentos em pátio coberto, o tempo foi menor, 13 e 17 semanas (TR1 e TR2) e ausência em 30 semanas. Entretanto, na amostragem realizada em  $t_{47}$ , foi

detectado aumento da bactéria em TR1 (lodo coberto revolvido). Tempo similar na redução da bactéria foi reportado por Kafer (2015), que observou o decaimento de *Salmonella* spp em lodo séptico de  $1,6 \times 10^3$  para ausente, após 11 meses em repouso no sistema por *wetlands* piloto. Em 30 semanas, populações da bactéria em baixas quantidades ainda estavam presentes nos lodos descobertos TR3 (0,67 NMP/4 g ST – 0,16NMP/g ST) e TR4 (0,87 NMP/4 g ST – 0,21NMP/g ST). Esta amostragem corresponde a novembro de 2013, onde foi registrada a maior média da temperatura ambiente (23,04 °C) em Apucarana. A ausência no lodo descoberto ocorreu em 61 semanas.

Foram observadas diferenças significativas entre a condição coberta e não coberta ( $p < 0,05$ ). Essas diferenças ocorreram já no primeiro mês, de  $t_4$  até  $t_{17}$ . O decaimento da bactéria foi mais rápido nos lodos tratados sob cobertura em Fazenda Rio Grande comparados aos realizados a céu aberto no mesmo município (FIGURA 4.22).

O tempo para ausência de *Salmonella* em lodo foi superior aos apontados por Feachem *et al.* (1983) e Gibbs *et al.* (1995). Feachem *et al.* (1983) relatam como tempo máximo de sobrevivência para *Salmonella* spp., em climas quentes e ensolarados o período de 2 meses, com maior parte eliminada em 2 semanas. Gibbs *et al.* (1995) observaram ausência da bactéria em 34 semanas em lodo estocado e recrescimento em 52 e 53 semanas, com densidades de 2,2 e 0,04 NMP/g peso úmido.

Analisando o fator temporal para diferentes tipos de lodo, os resultados da ANOVA não apontaram diferença significativa para o fator revolvimento ( $p > 0,05$ ) no decaimento da *Salmonella*. No entanto, pôde ser observada (FIGURA 4.23) redução mais acentuada quando esse procedimento foi realizado no lodo séptico. Em 61 e 104 semanas não foi detectada presença da bactéria em nenhum tratamento.

#### **b) Lodo de UASB desaguado em leito de secagem (L<sub>UASB1</sub>)**

No lodo de UASB-Leito, a redução da *Salmonella* spp. foi mais acentuada nas quatro primeiras semanas ( $t_4$ ), variando de 0,75 a 1,25 unidade logarítmica nos tratamentos, decaimento maior nos lodos dispostos a céu aberto, nos dois municípios. Em uma das repetições em TR7 (pátio coberto), a concentração da bactéria estava bastante elevada, 32 NMP/ g ST (125 NMP/4 g ST), similar à concentração inicial em  $t_0$  (133 NMP/4 g ST), bem como em TR8. O decaimento

também foi mais lento nas 4 primeiras semanas, sendo observada concentração de 26,24 NMP/g (105 NMP/4 g ST) em uma das repetições (FIGURA 4.19).

Porém, entre  $t_4$  e  $t_9$  ocorreu uma queda expressiva nos tratamentos cobertos (TR7 e TR8), em densidades inferiores a 3 NMP/4 g ST. Até 30 semanas, a bactéria permaneceu no lodo em baixas concentrações e na coleta de 47 semanas foi observada ausência no lodo. Essa condição se mostrou melhor no decaimento da bactéria. Nos tratamentos em pátio descoberto (TR9 e TR10), entre  $t_4$  e  $t_9$  foi observado aumento de umidade nos lodos, de 45% para 50%, aproximadamente. Em 30 semanas a média em TR9 foi de 5 NMP/4 g ST. Em 47 semanas as concentrações estavam abaixo de 3 NMP/4 g ST e a ausência da bactéria foi observada em 61 semanas. Apesar das diferenças da condição coberta/descoberta, estatisticamente elas não foram apontadas em nenhum tempo para esse lodo, devido aos baixos valores.

Decaimento rápido de *Salmonella* para valores abaixo do limite de detecção em quatro semanas foi relatado por Jepsen *et al.* (1997) em lodos anaeróbio e aeróbio estabilizados (contendo 28 e 20% ST, respectivamente) durante o verão, com temperaturas entre 20 – 30 °C, na Dinamarca. A limitação de nutrientes causada pela concorrência microbiana é um dos principais mecanismos responsáveis pela decadência de *Salmonella* sp. (MONDAL *et al.*, 2014).

Pike (1983) observou que em lodos armazenados em temperaturas constantes, entre 16 °C e 37 °C, o decaimento da bactéria aumenta com a temperatura. Em temperaturas mais quentes, com um aumento de 4,5 °C, a taxa de deterioração específica foi duplicada.

A ausência da bactéria nos lodos, apesar de densidades pequenas nas primeiras semanas de estocagem, ocorreu nos períodos mais quentes nos dois municípios. No início do experimento de estocagem, as temperaturas estavam baixas e foram decaindo decorridas as semanas, até a 25<sup>a</sup>, onde se iniciou um período com temperaturas mais altas. Na 30<sup>a</sup> semana de estocagem do lodo (primavera), as temperaturas estavam mais elevadas e a coleta seguinte foi realizada no período de verão ( $t_{47}$ ). Esses resultados corroboram com os de Ahmed e Sorensen (1995) e Jepsen *et al.* (1997), que observaram que o armazenamento do lodo foi mais eficaz na redução do número de organismos entéricos quando o período de armazenamento incluiu uma temporada de verão, em temperatura ambiente média de  $\geq 20^\circ\text{C}$ . Já Lima (2009) observou a presença da bactéria em lodo

de esgoto, sem cal, submetido a tratamento em estufa agrícola no ciclo realizado no verão. Sua ausência ocorreu em 28 dias. Nas demais amostras e em ciclos realizados no outono e no inverno não foi observada a presença da bactéria.

### **c) Lodo de UASB desaguado em centrífuga (L<sub>UASB2</sub>)**

Em L<sub>UASB2</sub>, o decaimento mais expressivo da densidade de *Salmonella* spp. ocorreu já nas primeiras quatro semanas de estocagem do lodo (FIGURA 4.20). A densidade inicial da bactéria nos tratamentos (mesmo lote) era de 215 NMP/4 g ST (53,75 NMP/g ST), sendo reduzida na unidade de NMP/4 g ST para 19 (TR13), 29 (TR14), 12 (TR15) e 24 (TR16). De quatro (t<sub>4</sub>) para nove (t<sub>9</sub>) semanas, como observado em L<sub>UASB1</sub>, o decaimento da bactéria foi mais acentuado, nesse caso nos tratamentos em pátio coberto para concentrações abaixo de 3 NMP/4 g ST.

No L<sub>UASB2</sub> tratado em pátio coberto (TR13 e TR14), o tempo para redução da bactéria também foi mais rápido comparado aos tratamentos realizados em pátio descoberto (TR14 e TR15) a partir da 9ª semana. Apesar de elevadas taxas de decaimento durante o tratamento do lodo (SAHLSTROM *et al.*, 2004), pequenas concentrações de *Salmonella* spp. podem permanecer em biossólidos (WATANABE *et al.*, 1997). Essas bactérias são mais resistentes que a *E. coli* a fatores bióticos, predação microbiana e competição, características adaptativas relacionadas a genes específicos presentes nesse gênero (WINFIELD E GROISMAN, 2003). Essa resistência foi observada nos lodos submetidos aos tratamentos sob diferentes condições. Populações remanescentes da bactéria em concentrações inferiores a 0,75 NMP/g ST ainda foram encontradas em 47 semanas de estocagem do lodo. A ausência da bactéria foi observada nas amostragens de 61 e 104 semanas.

Estatisticamente, não foram apontadas diferenças significativas no revolvimento no decaimento da *Salmonella*, embora possa ser observado o efeito positivo, principalmente nas quatro primeiras semanas de estocagem do lodo, que foi quando ocorreu o declínio mais acentuado da bactéria (Figura 4.23).

#### Resumindo

- Ao final de 61 semanas de estocagem do lodo nos 18 tratamentos, as concentrações de *Salmonella* spp. estavam abaixo de 10<sup>3</sup> NMP/g ST. Os resultados encontrados indicam que a estocagem prolongada proporcionou a redução deste microrganismo a níveis seguros para a utilização agrícola do lodo nas condições a que foram submetidos.

- Entre as localidades, a *Salmonella* spp. mostrou-se mais sensível às condições ambientais de Apucarana quando expostas a céu aberto.
- Quanto ao fator cobertura, o decaimento foi mais rápido nos tratamentos realizados sob cobertura quando comparado aos expostos a céu aberto em Fazenda Rio Grande em lodo de UASB, desaguados de diferentes formas.
- Não foram apontadas diferenças significativas. O revolvimento teve um efeito positivo no decaimento da *Salmonella*, principalmente nas quatro primeiras semanas de estocagem do lodo.

Na Tabela 4.6, é apresentada a síntese das melhores condições operacionais observadas por tratamento, na redução de *Salmonella* spp. por tipo de lodo, bem como o resultado dos testes estatísticos realizados para o fatores local, revolvimento e cobertura ao longo do tempo.

TABELA 4.6 – MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA REDUÇÃO DE *Salmonella*

LODO		FATOR		
		LOCAL	REVOLVIMENTO	COBERTURA (FRG)
TANQUE SÉPTICO	MELHOR CONDIÇÃO	Apucarana	Com revolvimento	Com Cobertura
	ANOVA *	t <sub>4</sub> , t <sub>9</sub> , t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub>	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>4</sub> , t <sub>9</sub> , t <sub>13</sub> , t <sub>17</sub>
L <sub>UASB1</sub>	MELHOR CONDIÇÃO	Apucarana	Com revolvimento	Com cobertura
	ANOVA *	Sem evidência de diferença estatística	Sem evidência de diferença estatística	Sem evidência de diferença estatística
L <sub>UASB2</sub>	MELHOR CONDIÇÃO	**	Com revolvimento	Coberto
	ANOVA *	**	Sem evidência de diferença estatística	Sem evidência de diferença estatística

Nota: \* ANOVA e teste de Fischer (p-valores); \*\*realizado somente em FRG;

#### 4.1.7 Síntese dos resultados

Neste tópico é apresentada a síntese dos resultados apresentados no item 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Na Tabela 4.7 é apresentada a Síntese dos resultados obtidos na higienização de lodo após dois anos de estocagem prolongada, em atendimento aos valores estabelecidos pela Resolução Conama 375/2006 para lodo Classe A.

Na Figura 4.24 é apresentado o tempo para os indicadores biológicos alcançarem os padrões definidos pela Resolução Conama 375/2006 por tratamento nos municípios; os sólidos totais correspondentes e o nº de ovos viáveis de *Ascaris* por grama de sólidos totais nos tratamentos que não alcançaram o padrão estipulado na Resolução. Na Tabela 4.8 é apresentado o tempo para os indicadores



biológicos alcançarem os padrões definidos pela Resolução Conama 375/2006 por tipo de lodo nos municípios.

TABELA 4.7 – SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA HIGIENIZAÇÃO DE LODO APÓS DOIS ANOS DE ESTOCAGEM PROLONGADA, EM ATENDIMENTO AOS VALORES ESTABELECIDOS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 PARA LODO CLASSE A

ATENDIMENTO AOS LIMITES ESTABELECIDOS PELO CONAMA 375/2006 – CLASSE A EM 2 ANOS			
	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	<i>Salmonella</i>	OVOS DE HELMINTOS
TR1	SIM	SIM	NÃO
TR2	SIM	SIM	NÃO
TR3	SIM	SIM	NÃO
TR4	SIM	SIM	NÃO
TR5	SIM	SIM	SIM
TR6	SIM	SIM	NÃO
TR7	SIM	SIM	SIM
TR8	SIM	SIM	SIM
TR9	SIM	SIM	SIM
TR10	SIM	SIM	SIM
TR11	SIM	SIM	SIM
TR12	SIM	SIM	SIM
TR13	SIM	SIM	SIM
TR14	SIM	SIM	SIM
TR15	SIM	SIM	NÃO
TR16	SIM	SIM	NÃO
TRA	SIM	SIM	SIM
TRB	SIM	SIM	SIM

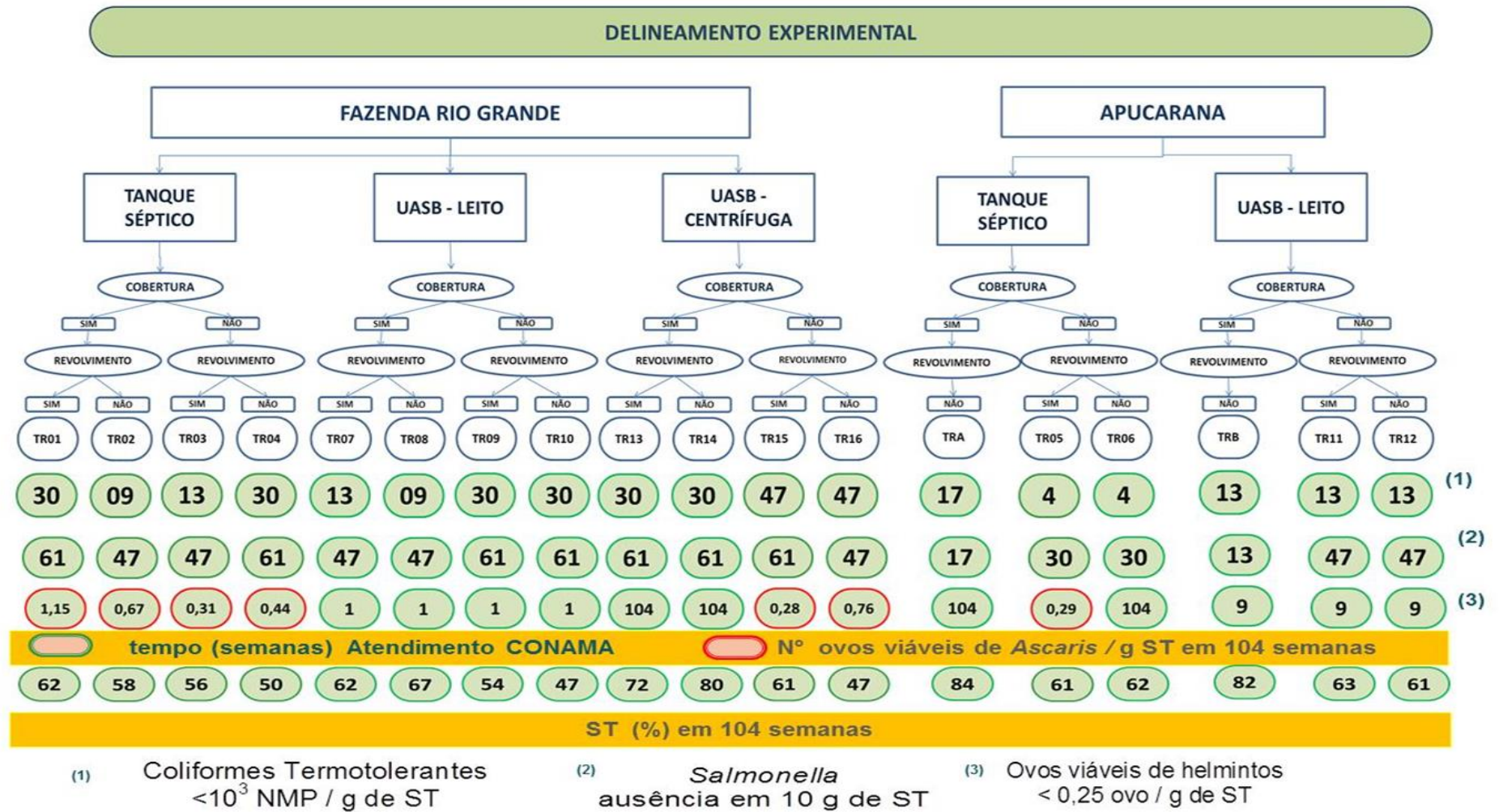


FIGURA 4.24 – TEMPO PARA OS INDICADORES BIOLÓGICOS ALCANÇAREM OS PADRÕES DEFINIDOS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 POR TRATAMENTO NOS MUNICÍPIOS; SÓLIDOS TOTAIS CORRESPONDENTES; Nº DE OVOS VIÁVEIS DE ASCARIS / G ST NOS TRATAMENTOS QUE NÃO ALCANÇARAM O PADRÃO ESTIPULADO NA RESOLUÇÃO

TABELA 4.8 – TEMPO PARA OS INDICADORES BIOLÓGICOS ALCANÇAREM OS PADRÕES DEFINIDOS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 POR TIPO DE LODO NOS MUNICÍPIOS.

LODO	Tempo			RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 – CLASSE A
	COLIFORMES	<i>Salmonella</i>	OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS	
<b>TANQUE SÉPTICO – FAZENDA RIO GRANDE</b>	30 semanas	61 semanas	Não alcançou	Coliformes Termotolerantes <math><10^3</math> NMP / g de ST  Ovos viáveis de helmintos <math><0,25</math> ovo / g de ST  <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST
<b>TANQUE SÉPTICO – APUCARANA</b>	09 semanas	30 semanas	2 anos	
<b>L<sub>UASB1</sub> FRG</b>	13 semanas PC 30 semanas PD	61 semanas	9 semanas	
<b>L<sub>UASB1</sub> APU</b>	13 semanas	47 semanas	9 semanas	
<b>L<sub>UASB2</sub> FRG</b>	30 semanas PC 47 semanas PD	61 semanas	Não foi alcançado em pátio descoberto e alcançado em 2 anos em pátio coberto	

NOTA: PC – Pátio coberto; PD – Pátio descoberto

### a) Lodo de Tanque Séptico

- A secagem do lodo séptico por estocagem prolongada atingiu teor de sólidos totais entre 50% e 62% nos tratamentos com esse tipo de lodo. A velocidade de secagem nos lodos foi baixa durante todo o processo, mesmo nos tratamentos realizados em pátio coberto. O confinamento lateral dos lodos em caixas de madeira, mesmo sem fundo, dificultou o mecanismo de secagem.
- O teor final de sólidos totais obtido nos tratamentos não foi suficiente para inviabilizar os ovos de helmintos presentes no lodo a valores aceitáveis para uso agrícola.

### b) Lodo de UASB desaguado em leitos de secagem

- No lodo de UASB desaguado em leitos de secagem que apresentaram valores iniciais inferiores a 3 ovos viáveis de helmintos por grama de sólidos totais, 9 semanas de estocagem do lodo foram suficientes para alcançar os valores estipulados pela Resolução Conama 375/2006 quanto ao lodo Classe A (menor que 0,25 ovo viável/g ST).
- Em relação à concentração de coliformes termotolerantes, foram necessárias 13 semanas de estocagem do lodo para que atingisse concentrações inferiores a  $10^3$  NMP/g ST nos tratamentos realizados em Apucarana e 30 semanas nos tratamentos realizados no município de Fazenda Rio Grande.
- O fator limitante do tempo de higienização quanto a esse lodo foi estabelecido em relação a presença da bactéria *Salmonella* sp, que foi alcançado em 61 semanas. Para esse indicador, a cobertura aumenta discretamente a eficiência na destruição desta bactéria, podendo acelerar o processo de higienização do lodo.

### c) Lodo de UASB desaguado em centrífuga

- Para lodos oriundos de reator UASB com concentrações de ovos viáveis de helmintos entre 3 e 10 ovos/g ST, após um período de dois anos de estocagem de lodo, os tratamentos realizados sob cobertura alcançaram

valores que atendem ao limite máximo estipulado pela Resolução Conama 375/2006 para lodo Classe A. Os dois tratamentos (com e sem revolvimento em pátio coberto) apresentaram os teores mais elevados de sólidos totais, 72% e 80%, entre os 18 tratamentos realizados.

- Nos tratamentos realizados em pátio descoberto, os valores finais obtidos após o período de estocagem prolongada de lodo não foram alcançados, contudo foram inferiores a 1 ovo viável/g ST.
- Em relação a concentração de coliformes termotolerantes, foram necessárias 30 semanas de estocagem do lodo nos tratamentos realizados em pátio coberto em Fazenda Rio Grande, para que atingisse concentrações inferiores a  $10^3$  NMP/g ST e 47 semanas nos tratamentos realizados em pátio descoberto, no mesmo município.

#### **d) Influência dos fatores climatológicos e operacionais na redução dos patógenos**

➤ A umidade é um dos fatores que afeta a sobrevivência dos microrganismos presentes no lodo (YEAGER e WARD, 1981; SMITH, 1996; THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1997, MAYA *et al.* 2010, SIDHU e TOZE, 2009 ). O aumento do teor de sólidos totais (ST) no lodo de esgoto promoveu a redução dos organismos patogênicos avaliados pelos resultados obtidos. O maior teor de sólidos totais atingido nos lodos em FRG foi 80% ST em lodo centrifugado, sob cobertura. Nos tratamentos realizados isoladamente em Apucarana (tanque séptico e leito, sob cobertura) o teor de sólidos totais alcançado foi de 84 e 82%, respectivamente. Nos tratamentos sob essas condições, o lodo foi higienizado para todos os parâmetros estudados: viabilidade de ovos de helmintos, concentração de *Salmonella* spp. e coliformes termotolerantes. Entretanto teores acima de 90%, que inviabilizam a sobrevivência dos patógenos (YEAGER e O'BRIEN, 1983; COMPARINI, 2001; LIMA, 2009) não foram atingidos.

- O processo de revolvimento manual teve pouca influência sobre o resultado final do processo de inviabilização dos ovos de helmintos, que é o indicador limitante nessas condições.
- Foi observada a condição coberta como mais favorável nos tratamentos quanto ao decaimento das bactérias e na inviabilização de ovos de helmintos,
- A perda de umidade nos lodos, ao final de dois anos de estocagem, não foi expressiva. Os teores máximos de sólidos totais obtidos ocorreram nos lodos de UASB centrifugados.
- Para este período de estocagem do lodo, o processo de revolvimento manual teve pouca influência sobre o resultado final do processo de inviabilização dos ovos de helmintos, que é o indicador limitante nessas condições. Foi observada a condição de disposição sob cobertura como mais favorável nos tratamentos quanto ao decaimento das bactérias e na inviabilização de ovos de helmintos, embora com um baixo padrão de eficiência, que não justifica a recomendação da prática.
- O recrescimento ou recolonização das bactérias entéricas ocorreu durante o período de armazenamento, principalmente sob condições de precipitação atmosférica, mas em baixas densidades. A recontaminação por fezes de animais é possível.
- O decaimento da *Salmonella* sp foi rápido, mais acentuado nas primeiras quatro semanas de tratamento, atingindo concentrações inferiores a 3 NMP/4 g em poucas semanas. Entretanto a bactéria pode estar presente em pequenas concentrações no lodo por períodos maiores. Nesse estudo, foi observado em 61 semanas, apesar de não ter sido realizada análise entre 47 e 61 semanas.
- Os tratamentos menos eficientes na eliminação da *Salmonella* foram os tratamentos TR3 e TR4 (lodo séptico) e (TR9 e TR10) LUASB1, lodos de UASB – Leito, todos em pátio descoberto, bem como o TR1 (lodo séptico em pátio coberto). Nesse tratamento, ocorreu aumento em  $t_{47}$ . A possibilidade de recontaminação por agente externo é mais provável, o aumento foi isolado e

as condições (cobertura, perda de umidade) não eram propícias para recrescimento.

- O tempo de estocagem de dois anos, como método de higienização de lodo de tanque séptico, não foi suficiente para inviabilização de ovos de *Ascaris* sp. em todos os tratamentos. A ausência de *Salmonella* spp. em 10g ST ocorreu em até 13 semanas nos tratamentos realizados em Apucarana e em 61 semanas nos tratamentos realizados em Fazenda Rio Grande. A redução de coliformes termotolerantes, em concentrações inferiores a  $10^3$  NMP/g ST, foi obtida em 13 semanas nos tratamentos realizados no município de Apucarana e em 30 semanas nos tratamentos realizados em Fazenda Rio Grande, em atendimento a Resolução Conama 375/2006, para reciclagem agrícola de lodo.
- Para lodos oriundos de reator UASB com baixas concentrações de ovos viáveis de helmintos (até 3 ovos viáveis/g ST), a estocagem prolongada como método de higienização foi eficiente na inviabilização de ovos de helmintos, destruição de *Salmonella* spp e redução de coliformes termotolerantes em valores em atendimento a Resolução Conama 375/2006, para reciclagem agrícola de lodo. O tempo necessário para obtenção do lodo higienizado foi de 61 semanas, tendo como parâmetro limitante a *Salmonella* spp.
- Para lodos oriundos de reator UASB com concentrações de ovos viáveis de helmintos entre 3 e 10 ovos/g ST, os tratamentos realizados sob cobertura alcançaram valores que atendem ao limite máximo estipulado pela Resolução Conama 375/2006 para lodo Classe A após dois anos de estocagem. Os dois tratamentos apresentaram os teores mais elevados de sólidos totais, 72% e 80%, entre os 18 tratamentos realizados.
- Entre as localidades, a bactéria mostrou-se mais sensível às condições ambientais de Apucarana, quando expostas a céu aberto.
- Quanto ao fator cobertura, o decaimento foi mais rápido nos tratamentos realizados sob cobertura quando comparados aos expostos a céu aberto em Fazenda Rio Grande em lodo de UASB, desaguados de diferentes formas.

- Quanto ao fator revolvimento, o decaimento da bactéria foi similar em ambas às condições, com e sem revolvimento, não se apresentando como um diferencial no tempo de decaimento das bactérias.

#### 4.1.8 Ovos de helmintos

Neste item, são discutidos os resultados obtidos para a contagem de ovos viáveis de helmintos (*Ascaris lumbricoides*) em lodo anaeróbio oriundo de reator UASB, submetido a desaguoamento em leitos de secagem e centrífuga, bem como em lodo oriundo de fossas e tanques sépticos, em um período de dois anos de estocagem. Os resultados são apresentados por tipo de lodo, de forma similar aos resultados de *coliformes* e *Salmonella* spp.

Na primeira, estão representados graficamente (valores máximos e médios), por tipo de lodo, para cada tratamento (16 tratamentos), nos dois municípios onde foram realizados os tratamentos. Juntamente são expressos os dados (Tabela 4.10) de sólidos totais, umidade relativa do ar, temperatura ambiente, em oito campanhas amostrais. Os valores de ovos de helmintos em  $t_0$  não foram considerados.

- Lodo de tanque séptico em Fazenda Rio Grande (TR1, TR2, TR3 e TR4) (FIGURA 4.25) e Apucarana (TR5 e TR6) (FIGURA 4.26);
- L<sub>UASB1</sub> em Fazenda Rio Grande (TR7, TR8, TR9, TR10) (FIGURA 4.27) e Apucarana (TR11 e TR12) na FIGURA 4.28;
- L<sub>UASB2</sub> em Fazenda Rio Grande (TR13, TR14, TR15, TR16) (FIGURA 4.29).

Os tratamentos foram agrupados por tipo de lodo, para avaliação dos fatores local (FIGURA 4.30), cobertura (FIGURA 4.31) e revolvimento (FIGURA 4.32) pela ANOVA e teste de Fischer.



### Ovos Viáveis de Helmintos em Lodo Séptico – FRG

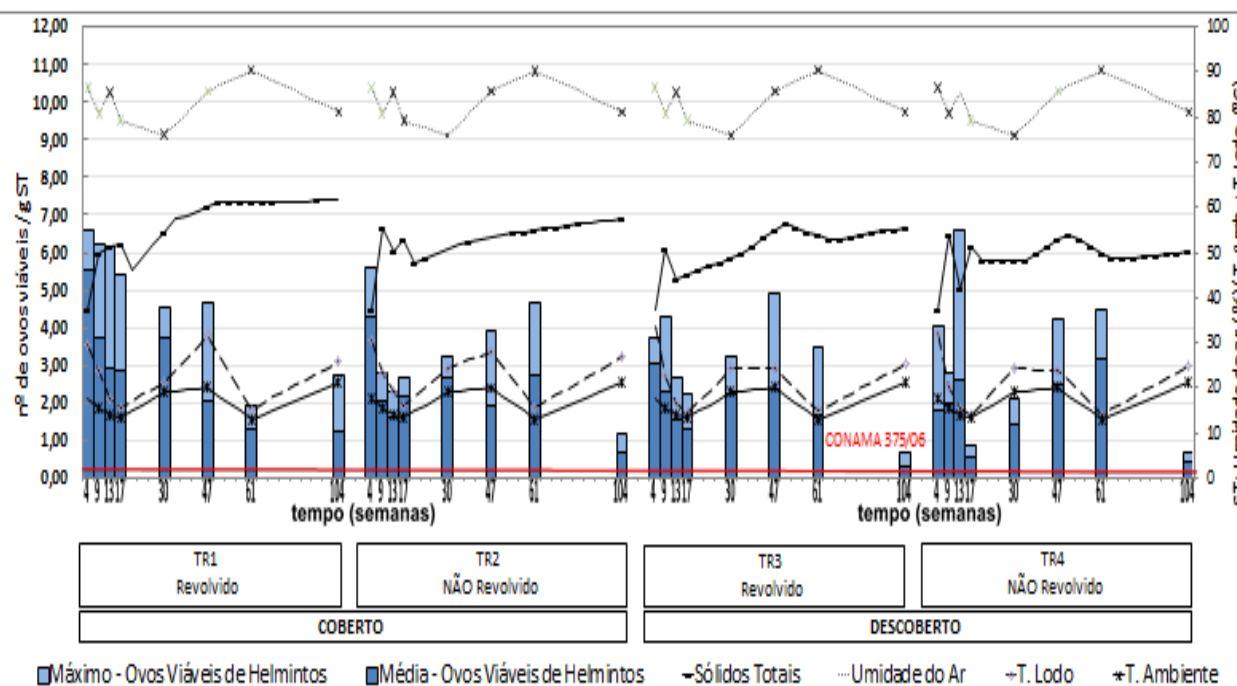


FIGURA 4.25 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM LODO SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR1, TR2, TR3, TR4)  
 NOTA: TR– TRATAMENTO

### Ovos Viáveis de Helmintos em Lodo Séptico – Apucarana

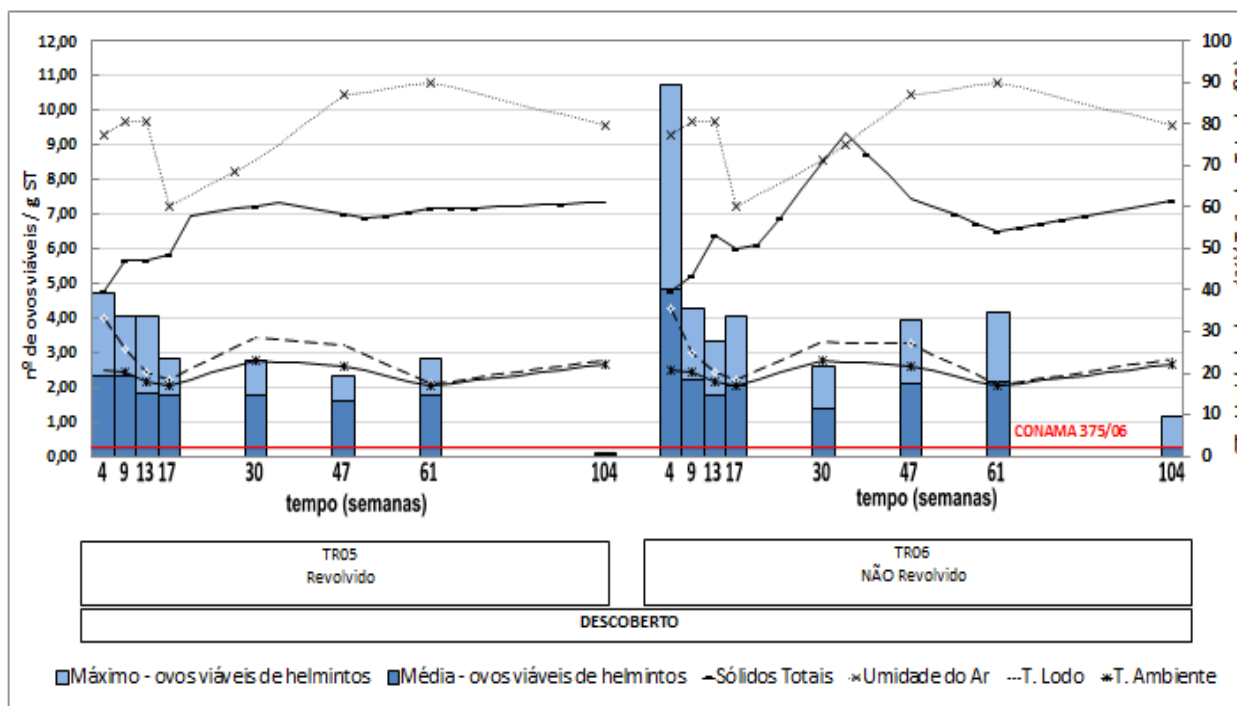


FIGURA 4.26 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM LODO SÉPTICO AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR5, TR6) NOTA: TR– Tratamento

### Ovos Viáveis de Helmintos em Lodo de UASB-Leito – FRG

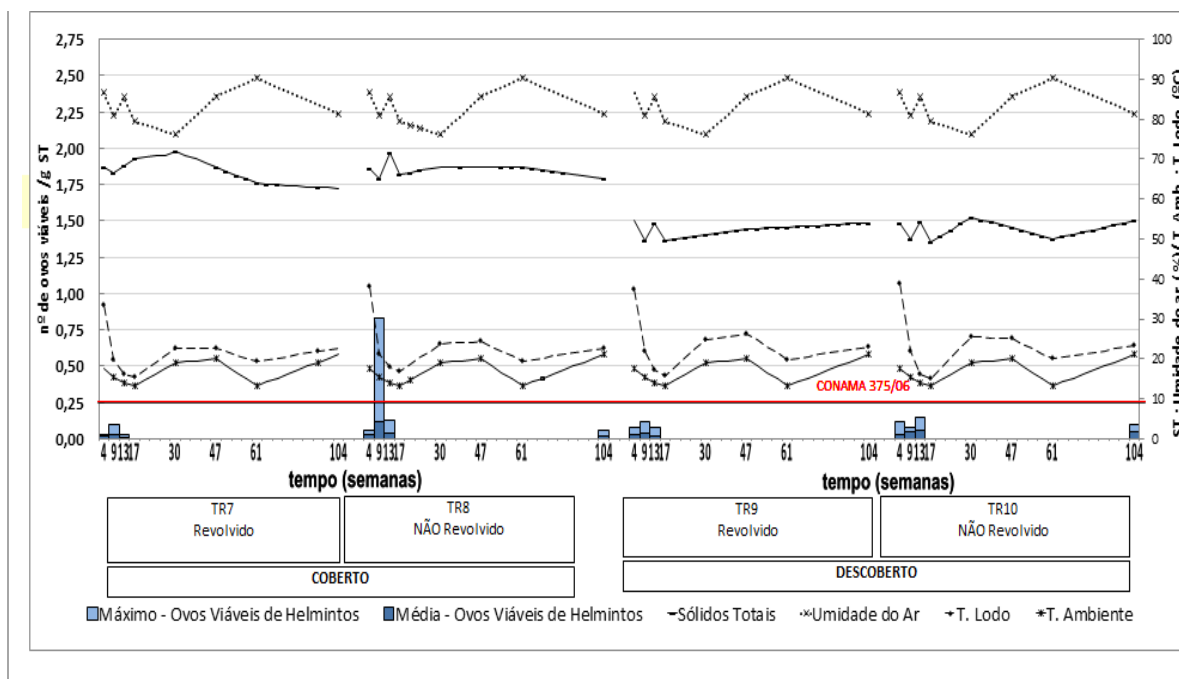


FIGURA 4.27 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM  $L_{UASB1}$  AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE (TR7, TR8, TR9, TR10)

### Ovos Viáveis de Helmintos em Lodo de UASB-Leito – Apucarana

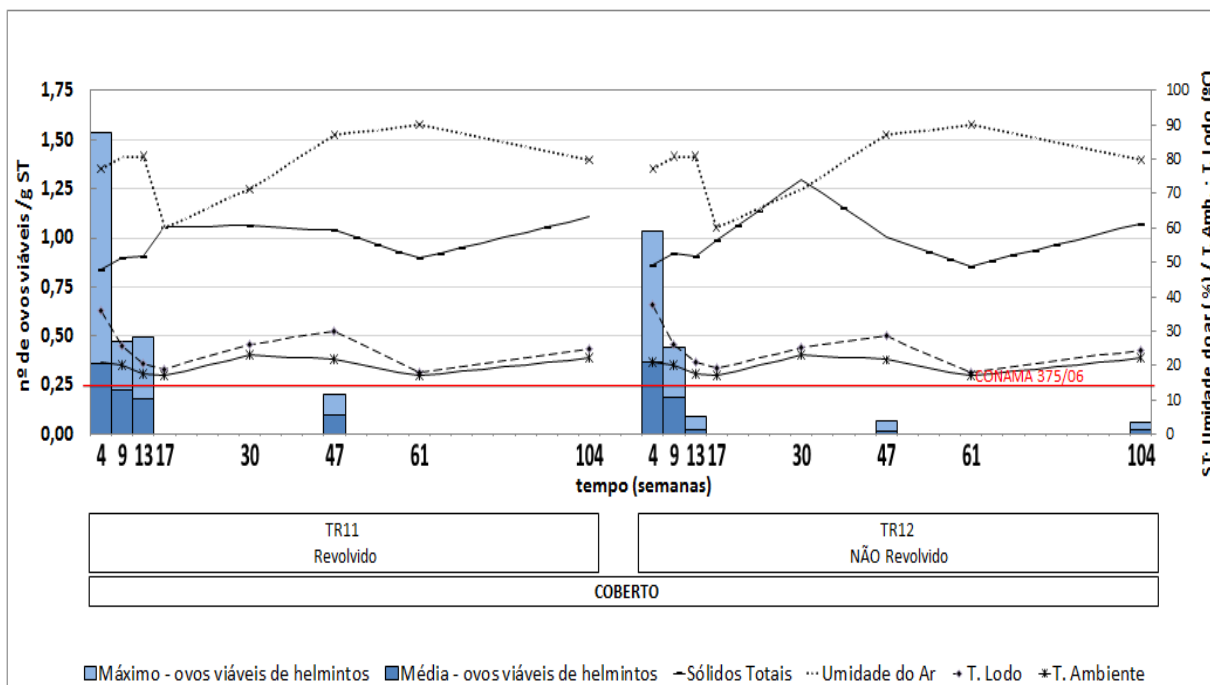


FIGURA 4.28 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM  $L_{UASB1}$  AO LONGO DO TEMPO EM APUCARANA (TR11, TR12)

### Ovos Viáveis de Helmintos em Lodo de UASB-Centrífuga – FRG

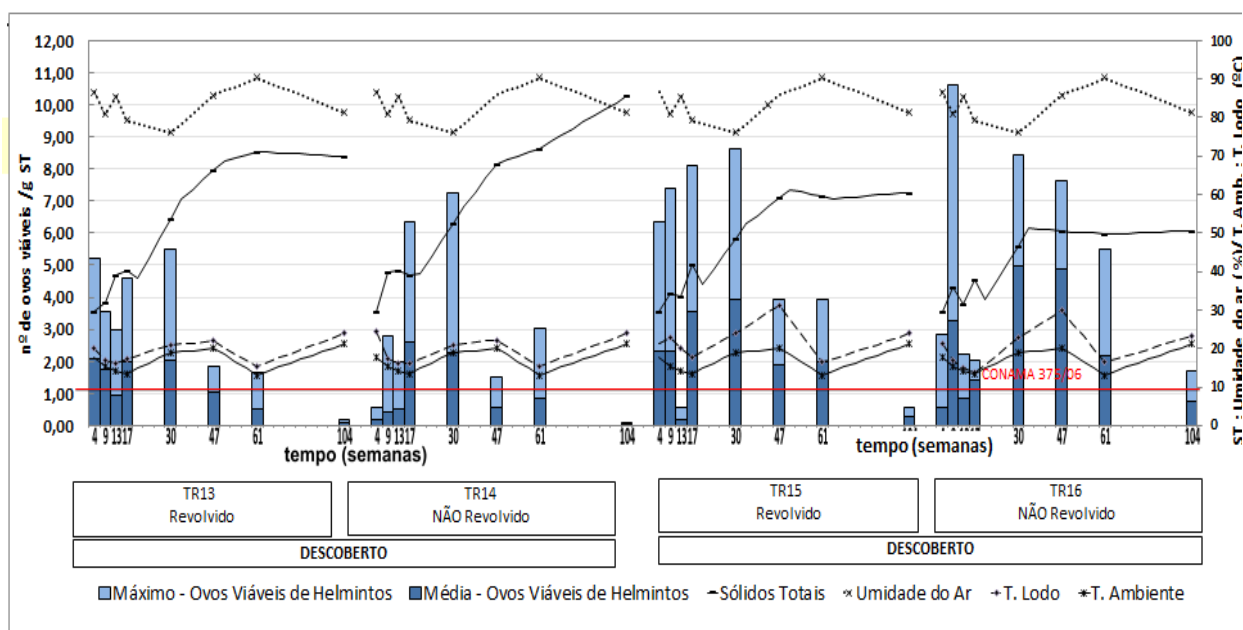


FIGURA 4.29 – EVOLUÇÃO DA CONTAGEM DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM LUASB2 AO LONGO DO TEMPO EM FAZENDA RIO GRANDE

NOTA: TR – Tratamento;

## FATOR LOCAL

São apresentados os resultados do número de ovos viáveis de *Ascaris* ao longo do tempo e os intervalos de confiança de 95%, separados por tipo de lodo para as duas localidades (FIGURA 4.30).

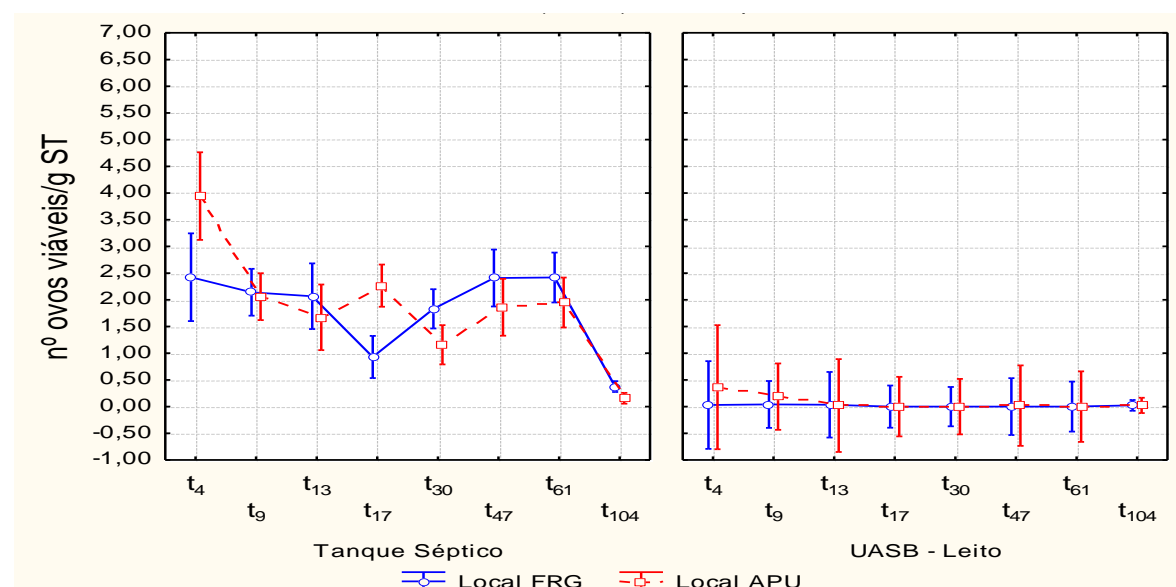


FIGURA 4.30 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE OVOS VIÁVEIS DE *Ascaris* E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA FATOR LOCAL

## FATOR COBERTURA

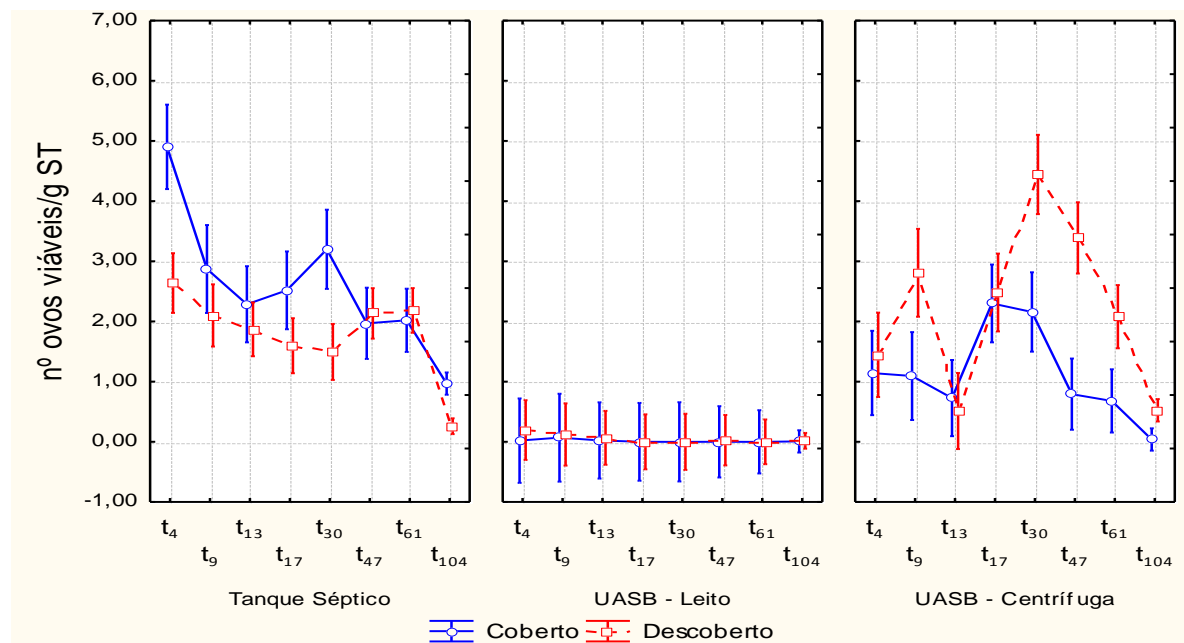


FIGURA 4.31 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE OVOS VIÁVEIS DE *Ascaris* E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA O FATOR COBERTURA

## FATOR REVOLVIMENTO

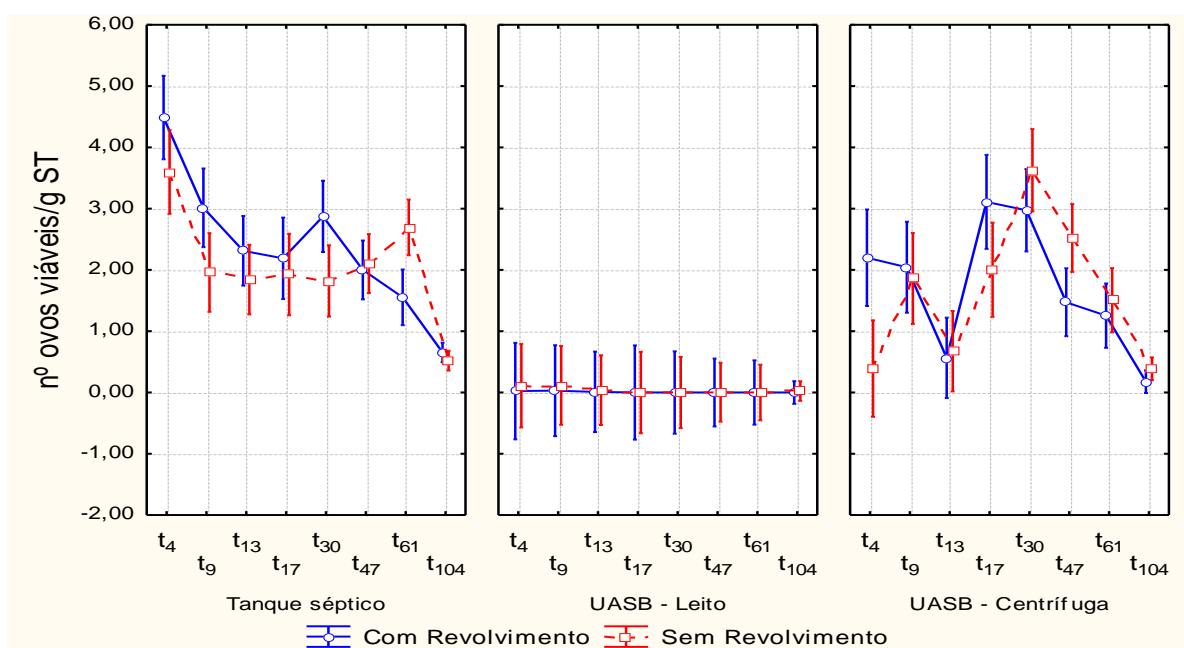


FIGURA 4.32 – PERFIL TEMPORAL DAS MÉDIAS DE OVOS VIÁVEIS DE *Ascaris* E RESPECTIVOS INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95%, CONSIDERANDO OS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPO DE LODO PARA FATOR REVOLVIMENTO

#### 4.1.8.1 Número inicial de ovos de helmintos nos lodos de esgoto

O maior número de ovos de *Ascaris* encontrados no lodo séptico foi 30 ovos totais/g ST e o maior valor de ovos viáveis por grama de ST foi 9,8. Silva *et al.* (2008) encontraram 102 ovos/g ST em lodo séptico.

No lodo de tanque séptico avaliado por Santos (2010), houve grande variabilidade no número de ovos, de 0 a 688 ovos por litro. Foram encontrados 126, 125 e 12 ovos/L de helmintos em tanques sépticos. O autor associou o número de ovos com a classe social e o tempo de esgotamento dos tanques. Quanto mais demorado o tempo de esgotamento, compatível com as classes com menor poder aquisitivo, menor a viabilidade dos ovos, pois, segundo a autora, corroborando Veerannan (1977), a taxa de fertilidade de ovos de *Ascaris* sp. retidos em lodos de ETEs é de 50, 25 e 12%, decorridos 1, 1,5 e 2 anos, respectivamente, sendo praticamente nula após 3 anos.

Em L<sub>UASB1</sub>, o número de ovos encontrados foi pequeno, até 2,85 ovos totais/g ST (0,28 viável – 9,62%). A contagem de ovos foi muito baixa desde o início do experimento, os valores iniciais eram inferiores ao preconizado pela Resolução na maior parte das unidades experimentais avaliadas. As baixas concentrações de ovos de helmintos no lodo são atribuídas à higienização do lodo na etapa de desaguamento em leitos de secagem (ver item 4.3).

Em L<sub>UASB2</sub>, o número de ovos de *Ascaris* foi maior, até 17,68 ovos totais/g ST (3,28 viáveis – 21%) e 10,7 ovos viáveis em outra amostra. Esses números são menores do que os reportados por Godinho (2003) e Assunção e Henrique (2006) em lodo de reator UASB, que encontraram de 25 – 73 e 108 ovos/g ST, respectivamente. Jimenez – Cisneros *et al.* (2000) relataram uma alta incidência de *Ascaris* (66 a 136 ovos/g ST) em lodos no México. Amahmid, Asmama e Bouhoumteve (2001) encontraram 29,6 ovos/g ST em lodo e lagoas.

#### 4.1.8.2 Evolução do número de ovos de helmintos nos lodos de esgoto

##### a) Lodo de tanque séptico

Nos tratamentos do lodo séptico, dentre os resultados obtidos, a melhor condição metodológica na inviabilização de ovos de *Ascaris* ocorreu no tratamento realizado em Apucarana, a céu aberto, que passou pelo processo de revolvimento.

Esse tratamento (TR5) teve 99,67% de eficiência, com redução de 2,33 a 0,01 ovo viável por grama de sólidos totais após 2 anos de estocagem, atendendo ao valor estabelecido pela Resolução Conama 375/2006. Em TR6, a eficiência foi de 91,70%, diminuindo de 3,38 para 0,28 ovo viável, muito próximo à condição de higienização preconizada pela Resolução (0,25 ovo/g ST). Em 11 meses de estocagem do lodo, a redução de viabilidade para ovos de helmintos nesses tratamentos era de 43,9% (TR5) e 59,63% (TR6).

A condição menos favorável foi no tratamento realizado em Fazenda Rio Grande sob pátio coberto e revolvido (TR1). De 5,54 ovos viáveis de *Ascaris* houve redução para 1,27 ovo, com eficiência de 77,13%. Em TR2 houve redução de 4,27 para 0,67 ovo, eficiência de 84,30%. Nos tratamentos TR3 e TR4, a eficiência foi de 89,82% e 82,89%, decaindo de 3,02 para 0,31 ovo e de 2,59 para 0,44 ovo viável por grama de sólidos totais.

Os tratamentos realizados em Apucarana foram mais eficientes em relação aos realizados em Fazenda Rio Grande. A perda de umidade foi mais acentuada em Apucarana em virtude das diferenças climatológicas, bem como a temperatura da massa do lodo foi mais elevada nos tratamentos realizados neste município (FIGURA 4.25 e FIGURA 4.26). Os fatores ambientais como umidade e temperatura, são imprescindíveis para a avaliação da eficiência na inviabilização dos ovos de helmintos presentes no lodo (WHARTON, 1979). O teor de sólidos totais nos dois tratamentos era de aproximadamente 62%, mais elevado comparado aos tratamentos realizados em FRG ao final do experimento. Climas quentes e secos fornecem melhores condições para a eliminação do parasito, com destruição em lodo com teor de sólidos totais de 5% (HALL *et al.*, 1995).

Apesar do número de ovos viáveis de *Ascaris* decair mais rapidamente em Apucarana, não foram apontadas diferenças significativas entre as localidades ( $p > 0,05$ ) para o lodo séptico no decaimento de ovos de *Ascaris* ao longo do tempo. As diferenças significativas foram encontradas apenas para o lodo séptico na 17ª semana, entretanto essa diferença ocorreu devido aos baixos valores de ovos viáveis de helmintos no TR4, resultado que foi desconsiderado em virtude das demais análises.

A redução no número de ovos viáveis de helmintos em Fazenda Rio Grande se deu de forma lenta ao longo do tempo em todos os tratamentos (Figura 4.25). Ocorreu descontinuidade no decaimento nos resultados durante intervalos de tempo,

mais evidente em 17 semanas em TR4 e 30 semanas em TR6, onde as concentrações obtidas foram muito pequenas.

Aumentos de número de ovos no lodo também foram observados. Podem estar relacionados à amostragem ou ainda ao método analítico utilizado para a análise (THOMAZ SOCCOL, 2000). Apesar do cuidado na amostragem, pode ter havido heterogeneidade em alguma amostra coletada, ou aglomeração de ovos em grãos ou torrões de lodo. Essa condição se repetiu em algumas unidades experimentais em outros tratamentos avaliados neste trabalho. Não é possível que haja um aumento no número de ovos, a não ser por uma possível contaminação de animais, como ratos, cachorros e pássaros. Os ovos tendem a sedimentar (CHERUBINI, 2002), o lodo que fica próximo à superfície tende a ter menor presença de ovos viáveis de helmintos do que os localizados em maior profundidade, onde são protegidos dos fatores externos por camadas de lodo.

No tratamento de lodo séptico realizado em pátio coberto, que contou com apenas uma unidade experimental (não revolvida) sem repetição, inicialmente tinha-se 1,41 ovo viável de *Ascaris* (57% de sólidos totais), sendo reduzido para 0,33 ovo viável em 47 semanas e 0,1 ao final do processo de estocagem (83% ST).

Os resultados da ANOVA mostraram haver diferença significativa no fator cobertura ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos com lodo de tanque séptico. Essas diferenças ocorreram em  $t_4$ ,  $t_9$ ,  $t_{17}$  e  $t_{30}$ , com inviabilização mais rápida dos ovos nos tratamentos em pátio descoberto. Ao final do experimento, na última amostragem ( $t_{104}$ ) (FIGURA 4.31) observa-se a redução no número de ovos mais acentuada nos tratamentos em pátio descoberto. Dos seis tratamentos com lodo séptico (FIGURA 4.25, FIGURA 4.26), quatro foram realizados em pátio descoberto e as contagens finais de ovos viáveis em cada um deles foi menor comparada às realizadas sob cobertura. Contudo, o teor de umidade manteve-se semelhante e elevado ainda em  $t_{104}$ , entre 40 e 50% nos tratamentos realizados em Fazenda Rio Grande.

Quanto ao fator revolvimento, estatisticamente não foram apontadas diferenças significativas nesse fator. No entanto, com lodo de tanque séptico, TR5 se mostrou mais eficiente do que TR6, ambos os tratamentos realizados sob condições similares, em pátio descoberto em Apucarana, tendo como diferença o revolvimento realizado em TR5. O teor de sólidos totais ao final estava muito próximo nos dois tratamentos, em torno de 62%.

Na higienização de lodo séptico por estocagem prolongada, a condição do lodo tratado sob céu aberto se mostrou mais eficiente. A perda de umidade foi lenta e o teor final de sólidos totais semelhante no final dos tratamentos, não sendo correlacionada com o decaimento dos helmintos. A radiação solar mais acentuada em Apucarana e a temperatura ambiente mais elevada contribuíram para a inviabilização dos ovos mais rápida neste município. A taxa de perda de água dos ovos de nematódeos é comprometida por alterações de temperatura do ambiente natural em que se encontram. O efeito da temperatura sobre a permeabilidade da casca do ovo é um importante fator de influência na capacidade de sobrevivência dos ovos às condições adversas do meio ambiente ao qual são expostas. Quando os ovos são submetidos à dessecação em temperaturas constantes diversas, a taxa de perda de água aumenta exponencialmente, em função do aumento da temperatura (WHARTON, 1979).

Os tratamentos realizados em pátio descoberto com lodo séptico mostraram-se mais eficientes do que os realizados em pátio coberto, sendo apontadas diferenças significativas neste fator em  $t_4$ ,  $t_{17}$ ,  $t_{30}$  e  $t_{104}$ . A contagem dos patógenos ao final de 104 semanas foi menor nos tratamentos em pátio descoberto, muito próximas ao padrão Conama 375/2006 para uso agrícola de lodo.

Sidhu e Toze (2009) afirmam que ovos de *Ascaris* summ podem sobreviver de 20 meses a 6 anos em lodo compostado, em lodo digerido e armazenados em tanques de estocagem. Pawlowski e Schultzberg (1986) relatam que foram necessários dois anos de estocagem de lodo para a destruição de ovos de *Ascaris*, na cidade de Moscou.

#### **b) Lodo de reator UASB desaguado em leito de secagem (L<sub>UASB1</sub>)**

O número de ovos viáveis de *Ascaris* em lodo oriundo de UASB-Leito atendeu ao limite máximo estabelecido pela Resolução Conama 375/2006 para lodo Classe A em todos os tratamentos em nove semanas (FIGURA 4.27 e FIGURA 4.28). As análises deste parâmetro em L<sub>UASB1</sub>, em Apucarana, foram suspensas após 17 semanas de tratamento em virtude da confirmação dos baixos valores, sendo retomadas ao final de dois anos.

Nos tratamentos realizados em Apucarana, a contagem inicial de ovos foi superior a 0,25 ovo/g ST, sendo possível acompanhar melhor a redução da viabilidade. Em TR11 (coberto com revolvimento), houve redução da média de 0,36



para 0,22 ovo viável por grama, de  $t_4$  para  $t_9$ , e para 0,18 ovo viável/ g ST em  $t_{13}$ . Em TR12 (sem revolvimento), a média inicial do número de ovos viáveis também era 0,36 e o maior valor observado nas repetições foi de 1,03 ovo. Em  $t_9$ , o valor médio de ovos havia sido reduzido para 0,19 ovo e em  $t_{13}$ , para 0,02, o valor máximo observado foi 0,09 ovo viável/g ST. No tratamento realizado em pátio coberto, que contou com uma unidade experimental (não revolvida) sem repetição, o número de ovos viáveis de *Ascaris* inicial era de 0,33 (64% de sólidos totais), sendo reduzido para 0,04 em  $t_9$ , não sendo mais observado ovo viável de *Ascaris* até o final do experimento (84% de sólidos totais). A variação da temperatura, por vários dias, e a intensidade de radiação solar no período, atuaram como fator determinante na redução e inviabilização dos ovos de helmintos. Quanto maior a variabilidade dos valores de temperatura, maior o “stress” sofrido pelos microrganismos.

Johnson *et al.* (1998) encontraram ovos de *Ascaris suum* após 29 semanas em lodo digerido anaerobiamente e estocado. Nas amostragens que se seguiram não foram encontrados ovos viáveis na maior parte das unidades experimentais até o final do experimento. As análises ao longo das 104 semanas de tratamento confirmaram a inviabilidade de ovos de *Ascaris* a valores menores do que 0,25 ovos/g MS. Na única unidade experimental montada em pátio coberto, o número inicial de ovos viáveis de helmintos por grama de sólidos totais era de 0,33 ovo em  $t_4$  e em  $t_9$  havia sido reduzido para 0,04 ovo viável/g ST. Ao final do período de estocagem não foram detectados ovos viáveis.

Nos tratamentos realizados com Lodo de UASB-Leito não foram apontadas diferenças significativas no fator cobertura, apesar de haver diferença neste fator em todos os tempos na análise estatística de sólidos totais. O número de ovos viáveis de helmintos eram muito próximos em todos os tratamentos e menores do que 1 ovo viável por grama de sólidos totais. Também não foi apontada diferença no fator local.

A ocorrência de parasitoses nos esgotos está relacionada com a incidência de parasitoses na população contribuinte, o que explica as baixas concentrações do organismo no lodo, além do desempenho de leitos de secagem não apenas para o desaguamento do lodo, mas também na sua higienização.

### **c) Lodo de reator UASB desaguado em centrífuga ( $L_{UASB2}$ )**

Os tratamentos realizados com lodo oriundo de reator UASB, que teve seu desague em centrífuga, ocorreram apenas no município de Fazenda Rio Grande. O

lodo apresentou uma contaminação inicial de ovos viáveis, em média de 5 ovos por grama de ST, mas sempre abaixo de 10.

Foram necessários dois anos de estocagem para que os lodos com cobertura alcançassem o padrão CONAMA. Para os tratamentos sem cobertura os números de ovos ficaram muito próximos do padrão, embora não tenham sido alcançados. A melhor condição metodológica na inviabilização de ovos de *Ascaris* ocorreu nos tratamentos realizados em pátio coberto, com e sem revolvimento (TR13 e TR14), atendendo aos valores estabelecidos pelo padrão Conama 375/2006 em dois anos de estocagem do lodo (Figura 4.29).

Em TR13, o maior decaimento de ovos de *Ascaris* foi de de 2,08 para 0,07 ovo viável por grama de ST. Os teores de sólidos de 72% em TR13 e 80% em TR14 foram superiores aos tratamentos em pátio descoberto, 60 % (TR15) e 46% (TR16). A chuva teve forte influência na variação de umidade nos  $L_{UASB2}$ , sendo observada menor perda de umidade nos dispostos em pátio descoberto nos meses com maior índice pluviométrico, principalmente nos primeiros meses em FRG. Em dois anos, a média no número de ovos viáveis em TR15 foi de 0,28 ovo/g ST e 0,76 ovo viável/g ST em TR16, valores próximos ao aceito para lodo classe A. Em temperaturas mais frias, a digestão anaeróbica do lodo está particularmente relacionada com o efeito inibidor de ácidos graxos produzidos durante a digestão e a ocorrência de outros microrganismos (CARRINGTON, 2001).

De acordo com PIKE (1986), ovos de *Ascaris* podem permanecer viáveis por muitos anos em condições de umidade adequadas, contudo podem ser destruídos pela secagem e exposição aos raios ultra-violeta, sendo que a dissecação e os danos produzidos pela exposição à luz solar contribuem significativamente para sua destruição. A inanição e a competição com outros microrganismos é uma das razões pelas quais ocorre a redução de patógenos com a estocagem do lodo.

Em estudo conduzido por Comparini (2001) sobre a higienização de lodo em estufa agrícola, o autor realizou correlações entre as contagens de ovos totais e viáveis de helmintos e de umidade do lodo de esgoto apontado a influência direta da umidade nos valores de ovos de helmintos.

Para o lodo de UASB-Centrífuga foram observadas diferenças significativas em  $t_9$ ,  $t_{30}$   $t_{43/47}$  e  $t_{61}$ , sendo que a higienização do lodo em pátio coberto se mostrou mais eficiente para este tipo de lodo. Em TR13, o teor de sólidos era de 72% e em

TR14, 80%, enquanto nos tratamentos em pátio descoberto o teor era mais baixo, 60 % e 46% aproximadamente, em TR15 e TR16.

Ao contrário do ocorrido com o lodo de tanque séptico, nos tratamentos com lodo de UASB-Centrífuga, que foram realizados somente em Fazenda Rio Grande, os tratamentos realizados em pátio coberto foram mais eficientes do que os realizados em pátio descoberto no decaimento dos ovos viáveis de helmintos. Nos tratamentos TR13 e TR14 foram alcançados números inferiores a 0,25 ovo viável/g ST em 104 semanas de estocagem do lodo e o teor de sólidos totais era de 72% e 80%, respectivamente.

As diferenças encontradas no fator revolvimento por tipo de lodo foram em  $t_{61}$  para o lodo séptico e em  $t_4$  para o lodo de UASB-Centrífuga (FIGURA 4.32). Contudo, essas diferenças não são representativas, por haver um aumento na densidade dos ovos em lodo séptico quando não era esperado e devido ao baixo valor em  $t_4$  no lodo de UASB-Centrífuga. A partir de  $t_{30}$ , os tratamentos com revolvimento passam a ter desempenho maior, mas não representativo.

Lima (2010), em um estudo da inativação desses patógenos em estufa agrícola, em tratamentos com e sem revolvimento, não encontrou diferenças entre os tratamentos na redução da viabilidade de ovos de helmintos, enquanto os resultados apontados por Bueno (2001) e Ferreira (2001) indicam tratamentos não revolvidos como mais eficientes na inativação de helmintos. Isso pode ser explicado pela maior oxigenação proporcionada pelo revolvimento, criando condições mais apropriadas e favoráveis de desenvolvimento dos ovos.

No Paraná, foi realizada uma pesquisa sobre o efeito do processo de revolvimento na higienização de lodo de UASB desaguado em leito de secagem, avaliando o comportamento de sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos. Os resultados obtidos pelo processo de revolvimento na higienização de lodo de esgoto demonstraram que houve um aumento dos sólidos totais do lodo de esgoto com a utilização do processo do revolvimento a cada 7 dias, nas medições de 0, 14 e 28 dias nas duas campanhas realizadas. Os autores também observaram forte correlação negativa entre o pH e os sólidos totais. Entretanto, não foi observada redução significativa na concentração inicial de ovos viáveis de helmintos, pois os lotes utilizados para a pesquisa apresentavam-se abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA 375/06 (ANDREOLI *et al.*, 2011; BITTENCOURT *et al.*, 2012).

### Resumindo

- Quanto ao fator revolvimento, estatisticamente não foram apontadas diferenças significativas em nenhum dos três tipos de lodo. No entanto, com o lodo de tanque séptico, o TR5 se mostrou mais eficiente do que o TR6, ambos os tratamentos realizados sob condições similares, em pátio descoberto em Apucarana, tendo como diferença o revolvimento, realizado em TR5. O teor de ST ao final estava muito próximo nos dois tratamentos, aproximadamente 62%.
- O período de 24 meses de estocagem de lodo séptico não foi suficiente para a inviabilização de ovos de *Ascaris*, estando os números acima do padrão estabelecido pela Resolução Conama 375/06. Esse lodo não estaria apto para ser aplicado na agricultura, observando que o uso de lodo proveniente de fossas e tanques sépticos ainda não é permitido no país.
- No lodo de UASB, desaguado em leito de secagem, o padrão definido na Resolução para lodo Classe A foi alcançado em todos os tratamentos para ovos de *Ascaris*, agora em 9 semanas de estocagem.
- O lodo de UASB desaguado em centrífuga apresentou uma contaminação inicial de ovos de *Ascaris* viáveis, em média de 5 ovos por grama, mas sempre abaixo de 10. Foram necessários dois anos de estocagem para que os lodos com cobertura alcançassem o padrão. Para os tratamentos sem cobertura, o valor definido pela Resolução não foi alcançado, ficando abaixo de 1 ovo viável /g ST.

Na Tabela 4.9 é apresentada a síntese das melhores condições operacionais observadas por tratamento na redução de ovos viáveis de helmintos, por tipo de lodo, bem como o resultado dos testes estatísticos realizados para os fatores local, revolvimento e cobertura ao longo do tempo.

TABELA 4.9 – SÍNTESE DAS MELHORES CONDIÇÕES OPERACIONAIS E RESULTADOS PARA OS FATORES LOCAL, REVOLVIMENTO E COBERTURA NA REDUÇÃO DO NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS

LODO		LOCAL	REVOLVIMENTO	COBERTURA
TANQUE SÉPTICO	MELHOR CONDIÇÃO	Apucarana	-	Sem Cobertura
	ANOVA *	Sem evidência de diferença estatística	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>4</sub> , t <sub>9</sub> , t <sub>17</sub> e t <sub>30</sub> .
LUASB1	MELHOR CONDIÇÃO	-	-	-
	ANOVA	Sem evidência de diferença estatística	Sem evidência de diferença estatística	Sem evidência de diferença estatística
LUASB2	MELHOR CONDIÇÃO	**	-	Com Cobertura
	ANOVA*	-	Sem evidência de diferença estatística	t <sub>9</sub> , t <sub>30</sub> , t <sub>43/47</sub> e t <sub>61</sub>

Nota: \* teste de Fischer (p-valores); \*\*realizado somente em FRG;

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS NO LODO DE ESGOTO AO LONGO DO TEMPO POR ESTOCAGEM PROLONGADA

No item 4.1.8 deste trabalho foram apresentados e discutidos os resultados da higienização de lodo anaeróbio por estocagem prolongada referentes a contagem de ovos viáveis do parasita do gênero *Ascaris* sp., microrganismo indicador da sanidade de lodo de esgoto, conforme legislação vigente (BRASIL, 2006; PARANÁ, 2009). Os resultados obtidos da ocorrência dos demais parasitas helmínticos no lodo, realizados pelo método de YANKO modificado, metodologia descrita por Thomaz -Soccol, Paulino e Castro (2000) e realizada pelas autoras no laboratório de Parasitologia da Universidade Federal do Paraná, são apresentados a seguir.

Os resultados referem-se a contagem de ovos de helmintos, totais e viáveis e porcentagem (%) de viabilidade por tipo de helminto, no início do experimento e após 24 meses nos lodos para os tratamentos com lodo oriundo de fossas e tanques sépticos (Tabela 4.10), lodos de UASB, L<sub>UASB1</sub> (Tabela 4.11) e L<sub>UASB2</sub> (Tabela 4.12) e graficamente (FIGURA 4.33, FIGURA 4.34 e FIGURA 4.35), respectivamente.

A fauna parasitária encontrada no lodo séptico e anaeróbio foi: *Ascaris*, *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *T. vulpis*, *Trichuroidea*, *H. diminuta* e *Taenia* sp., resultados similares ao encontrados com frequência em lodo de esgoto (USEPA, 2003; PIKE e DAVIS, 1984); PAULINO *et al.*, 2001; JIMÉNEZ, 2007b; JIMÉNEZ *et al.*, 2007, SOUZA *et al.*, 2008; SIDHU e TOZE, 2009; MAYA *et al.*, 2010).

Nelson *et al.* (2004) encontraram em lodo proveniente de quatro lagoas de estabilização no México os seguintes ovos de helmintos e a média da prevalência nas lagoas: *Ascaris* sp. (88,7%) *Trichuris* (5,4%) , *Hymenolepis* (4,5%) e *Toxocara* sp. (1,3%).

O decaimento do número de ovos totais nos tratamentos foi expressivo em todos os tratamentos, como pode ser observado nos resultados. Os ovos inférteis de helmintos não caracterizam riscos à saúde, contudo é possível traçar um perfil epidemiológico da população (FORTES *et al.*, 2004; REY, 2008).

TABELA 4.10 – NÚMERO DE OVOS TOTAIS E VIÁVEIS POR TIPO DE HELMINTOS NO LODO SÉPTICO SUBMETIDO AOS TRATAMENTOS EM 4 SEMANAS E 104 SEMANAS

Tratamento	Helminto	t = 4 semanas			t = 104 semanas		
		Viáveis	Totais	% Viab.	Viáveis	Totais	% Viab.
TR1	<i>Ascaris</i> sp.	5,54	15,35	36,06	1,15	4,65	24,62
	<i>Toxocara</i> sp.	0,04	0,72	6,23	0,00	0,02	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,04	1,41	2,54	0,02	0,30	7,21
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,37	2,53	14,60	0,26	1,16	22,71
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,12	3,81	0,02	0,13	12,83
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,05	0,19	24,21	0,00	0,04	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	16,67
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>6,04</b>	<b>20,32</b>	<b>29,70</b>	<b>1,45</b>	<b>6,35</b>	<b>22,93</b>
TR2	<i>Ascaris</i> sp.	4,27	12,38	34,48	0,67	3,93	17,04
	<i>Toxocara</i> sp.	0,04	0,78	4,63	0,02	0,07	26,67
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,02	0,92	2,17	0,01	0,28	5,01
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,23	1,73	13,37	0,10	1,14	9,18
	<i>Trichuroidea</i>	0,01	0,10	15,08	0,01	0,12	8,09
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,02	0,14	14,17	0,00	0,02	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>4,59</b>	<b>16,06</b>	<b>28,60</b>	<b>0,82</b>	<b>5,56</b>	<b>14,68</b>
TR3	<i>Ascaris</i> sp.	3,02	11,24	26,88	0,31	1,89	16,25
	<i>Toxocara</i> sp.	0,03	0,56	6,23	0,00	0,01	33,33
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,03	1,12	3,09	0,00	0,15	2,78
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,17	1,91	8,72	0,08	0,46	18,35
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,05	9,18	0,02	0,10	22,52
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,03	0,15	19,25	0,01	0,06	24,14
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	100,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>3,29</b>	<b>15,02</b>	<b>21,90</b>	<b>0,44</b>	<b>2,68</b>	<b>16,59</b>
TR4	<i>Ascaris</i> sp.	1,83	8,26	22,09	0,44	3,81	11,63
	<i>Toxocara</i> sp.	0,02	0,43	3,54	0,01	0,04	26,70
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,02	0,75	2,69	0,02	0,12	15,19
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,07	1,24	5,33	0,07	0,69	10,80
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,06	0,00	0,01	0,10	9,30
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,00	0,10	0,00	0,00	0,06	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>1,93</b>	<b>10,85</b>	<b>17,77</b>	<b>0,55</b>	<b>4,81</b>	<b>11,53</b>
TR5	<i>Ascaris</i> sp.	2,33	14,51	16,06	0,01	0,22	3,53
	<i>Toxocara</i> sp.	0,06	1,18	5,27	0,00	0,01	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,02	0,97	1,56	0,00	0,01	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,16	1,53	10,48	0,00	0,08	3,81
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,21	0,00	0,00	0,03	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,03	0,24	11,10	0,00	0,00	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>2,59</b>	<b>18,64</b>	<b>13,92</b>	<b>0,01</b>	<b>0,35</b>	<b>2,20</b>
TR6	<i>Ascaris</i> sp.	3,40	23,37	14,54	0,28	2,34	11,76
	<i>Toxocara</i> sp.	0,10	1,21	8,05	0,00	0,01	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,01	1,51	0,88	0,01	0,11	7,82
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,12	2,04	5,74	0,05	0,44	10,93
	<i>Trichuroidea</i>	0,03	0,39	7,12	0,01	0,08	16,39
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,01	0,46	3,01	0,01	0,05	14,80
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>3,67</b>	<b>29,02</b>	<b>12,64</b>	<b>0,35</b>	<b>3,03</b>	<b>11,62</b>

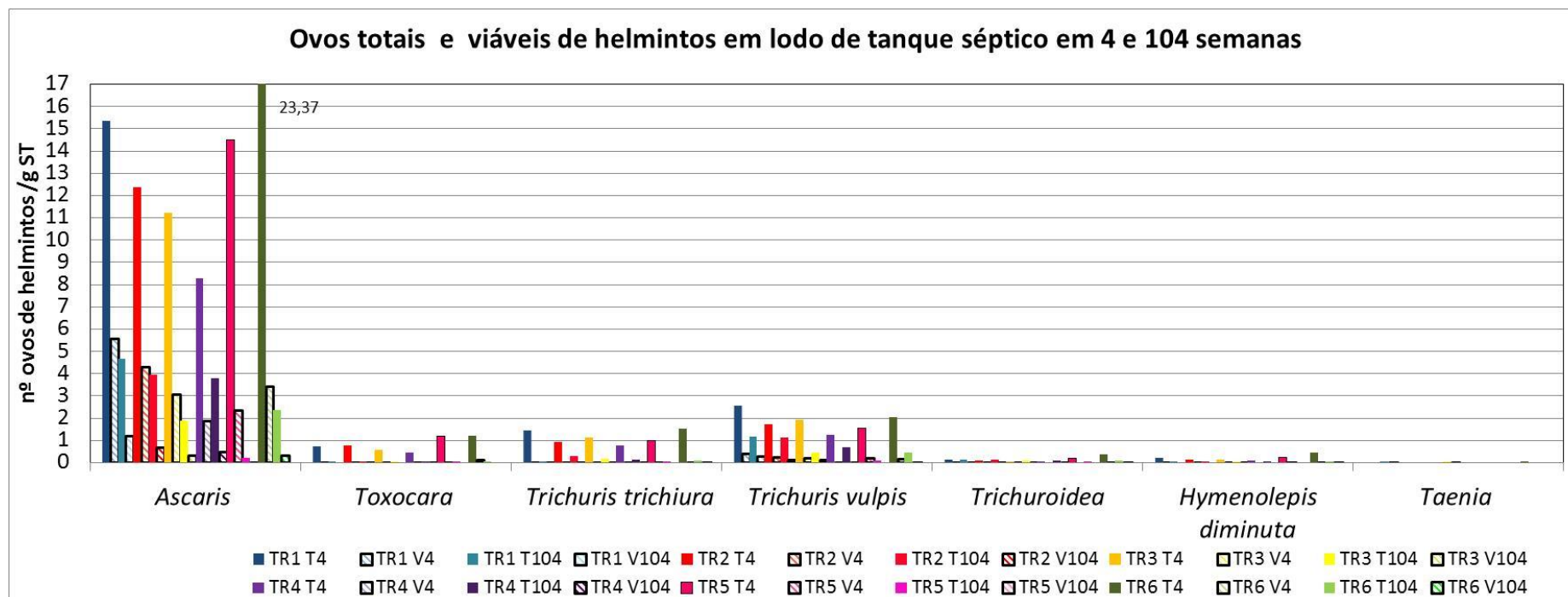


FIGURA 4.33 – CONTAGEM DE OVOS TOTAIS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM t = 4 SEMANAS E t = 104 SEMANAS NOS TRATAMENTOS REALIZADOS COM LODO SÉPTICO

NOTA: TR – Tratamento; t<sub>4</sub> – nº total de ovos em 4 semanas; t<sub>104</sub> – nº total de ovos em 104 semanas; V<sub>4</sub> ovos viáveis de helmintos em 4 semanas; v<sub>104</sub> ovos viáveis de helmintos em 104 semanas

TABELA 4.11 – NÚMERO DE OVOS TOTAIS E VIÁVEIS POR TIPO DE HELMINTOS NO LODO L<sub>UASB</sub>1, SUBMETIDO AOS TRATAMENTOS EM 4 E EM 13 OU 104 SEMANAS

Tratamento	Helminto	t = 4 semanas			t = 13* e 104 semanas		
		Viáveis	Totais	% Viab.	Viáveis	Totais	% Viab.
TR7	<i>Ascaris</i> sp.	0,01	0,11	31,70	0,01	0,04	11,90
	<i>Toxocara</i> sp.	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,01	0,06	16,67	0,00	0,03	0,00
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>0,02</b>	<b>0,26</b>	<b>8,14</b>	<b>0,01</b>	<b>0,12</b>	<b>5,36</b>
TR8	<i>Ascaris</i> sp.	0,03	0,10	30,93	0,00	0,03	0,00
	<i>Toxocara</i> sp.	0,00	0,03	12,50	0,00	0,00	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,00	0,05	0,00	0,01	0,01	25,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,00	0,06	6,25	0,01	0,05	25,00
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>0,03</b>	<b>0,27</b>	<b>15,34</b>	<b>0,01</b>	<b>0,11</b>	<b>25,00</b>
TR9	<i>Ascaris</i> sp.	0,03	0,18	22,91	0,01	0,29	6,16
	<i>Toxocara</i> sp.	0,00	0,06	0,00	0,01	0,08	16,75
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,00	0,07	0,00	0,00	0,05	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,01	0,07	28,57	0,00	0,09	0,00
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>0,04</b>	<b>0,40</b>	<b>12,69</b>	<b>0,03</b>	<b>0,57</b>	<b>5,19</b>
TR10	<i>Ascaris</i> sp.	0,03	0,24	14,55	0,03	0,43	2,78
	<i>Toxocara</i> sp.	0,01	0,11	5,40	0,00	0,03	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,03	0,14	15,50	0,02	0,07	12,50
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,00	0,01	12,50	0,00	0,00	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>0,07</b>	<b>0,58</b>	<b>13,09</b>	<b>0,05</b>	<b>0,57</b>	<b>3,68</b>
TR11	<i>Ascaris</i> sp.	0,36	4,27	7,80	0,18	0,56	17,14
	<i>Toxocara</i> sp.	0,02	0,55	3,49	0,01	0,14	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,02	0,23	7,11	0,01	0,07	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,01	0,44	2,24	0,02	0,23	0,00
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,17	0,00	0,00	0,08	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,02	0,38	5,46	0,00	0,03	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>0,43</b>	<b>6,09</b>	<b>6,59</b>	<b>0,22</b>	<b>1,10</b>	<b>12,14</b>
TR12	<i>Ascaris</i> sp.	0,36	3,91	8,50	0,02	0,09	18,75
	<i>Toxocara</i> sp.	0,05	0,65	7,58	0,00	0,00	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,02	0,14	14,33	0,00	0,01	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,02	0,59	3,71	0,01	0,06	12,50
	<i>Trichuroidea</i>	0,01	0,19	6,81	0,01	0,00	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,02	0,39	5,23	0,01	0,00	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>0,50</b>	<b>5,88</b>	<b>7,79</b>	<b>0,03</b>	<b>0,17</b>	<b>16,67</b>

Nota: \*Os resultados para TR7, TR9 e TR13 são da amostragem de 13 semanas



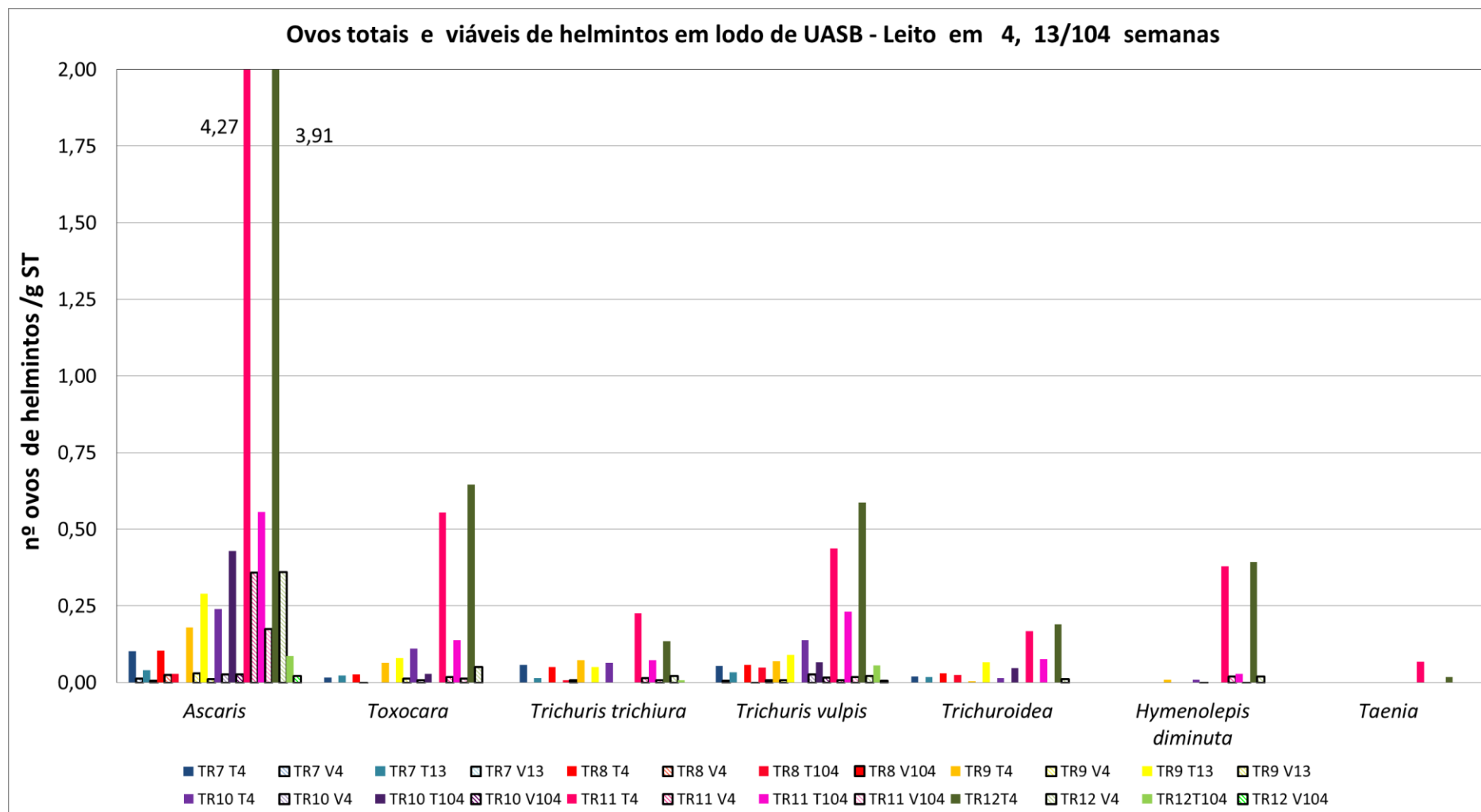


FIGURA 4.34 – CONTAGEM DE OVOS TOTAIS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM t = 4 SEMANAS E t = 104 SEMANAS NOS TRATAMENTOS REALIZADOS COM LODO UASB DESAGUADO EM LEITOS DE SECAGEM

NOTA: TR – Tratamento; T4 – TOTAL DE OVOS NO TEMPO 4; T104 – TOTAL DE OVOS NO TEMPO 104; V4 OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS NO TEMPO 4 V104 OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS NO TEMPO 104

TABELA 4.12 – NÚMERO DE OVOS TOTAIS E VIÁVEIS POR TIPO DE HELMINTOS NO L<sub>UASB2</sub> SUBMETIDO AOS TRATAMENTOS EM 4 E EM 104 SEMANAS

Tratamento	Helminto	t = 4 semanas			t = 104 semanas		
		Viáveis	Totais	% Viab.	Viáveis	Totais	% Viab.
TR13	<i>Ascaris</i> sp.	2,08	8,48	25,31	0,07	0,29	23,89
	<i>Toxocara</i> sp.	0,09	0,97	5,63	0,01	0,02	12,50
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,02	0,18	10,00	0,00	0,02	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,06	0,45	15,90	0,03	0,09	42,50
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	25,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,06	0,54	10,84	0,00	0,01	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>2,30</b>	<b>10,65</b>	<b>21,81</b>	<b>0,11</b>	<b>0,44</b>	<b>24,53</b>
TR14	<i>Ascaris</i> sp.	4,11	11,53	31,65	0,01	0,19	1,39
	<i>Toxocara</i> sp.	0,05	0,97	4,82	0,01	0,10	2,08
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,26	0,69	22,01	0,01	0,01	12,50
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,22	0,78	22,50	0,00	0,02	0,00
	<i>Trichuroidea</i>	0,02	0,16	9,38	0,00	0,01	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,04	0,37	9,02	0,00	0,01	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	8,33
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>4,70</b>	<b>14,50</b>	<b>28,48</b>	<b>0,03</b>	<b>0,35</b>	<b>10,68</b>
TR15	<i>Ascaris</i> sp.	2,32	13,46	19,15	0,28	1,44	21,93
	<i>Toxocara</i> sp.	0,06	1,35	5,44	0,02	0,06	50,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,07	0,60	16,63	0,00	0,02	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,05	0,87	11,04	0,06	0,15	45,83
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,04	0,00	0,01	0,02	12,50
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,07	0,62	10,47	0,00	0,00	0,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>2,56</b>	<b>16,95</b>	<b>16,70</b>	<b>0,37</b>	<b>1,70</b>	<b>25,47</b>
TR16	<i>Ascaris</i> sp.	3,28	17,68	21,08	0,76	2,71	28,25
	<i>Toxocara</i> sp.	0,08	2,09	4,05	0,00	0,05	0,00
	<i>Trichuris trichiura</i>	0,15	0,62	17,68	0,00	0,04	0,00
	<i>Trichuris vulpis</i>	0,15	0,96	9,04	0,12	0,26	41,79
	<i>Trichuroidea</i>	0,00	0,17	0,00	0,00	0,03	0,00
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,02	0,54	3,13	0,01	0,02	25,00
	<i>Taenia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>3,69</b>	<b>22,07</b>	<b>17,58</b>	<b>0,89</b>	<b>3,12</b>	<b>29,47</b>

Nota: \*Os resultados para TR14 iniciais são de 17 semanas e TR16 são de 9 semanas de amostragem

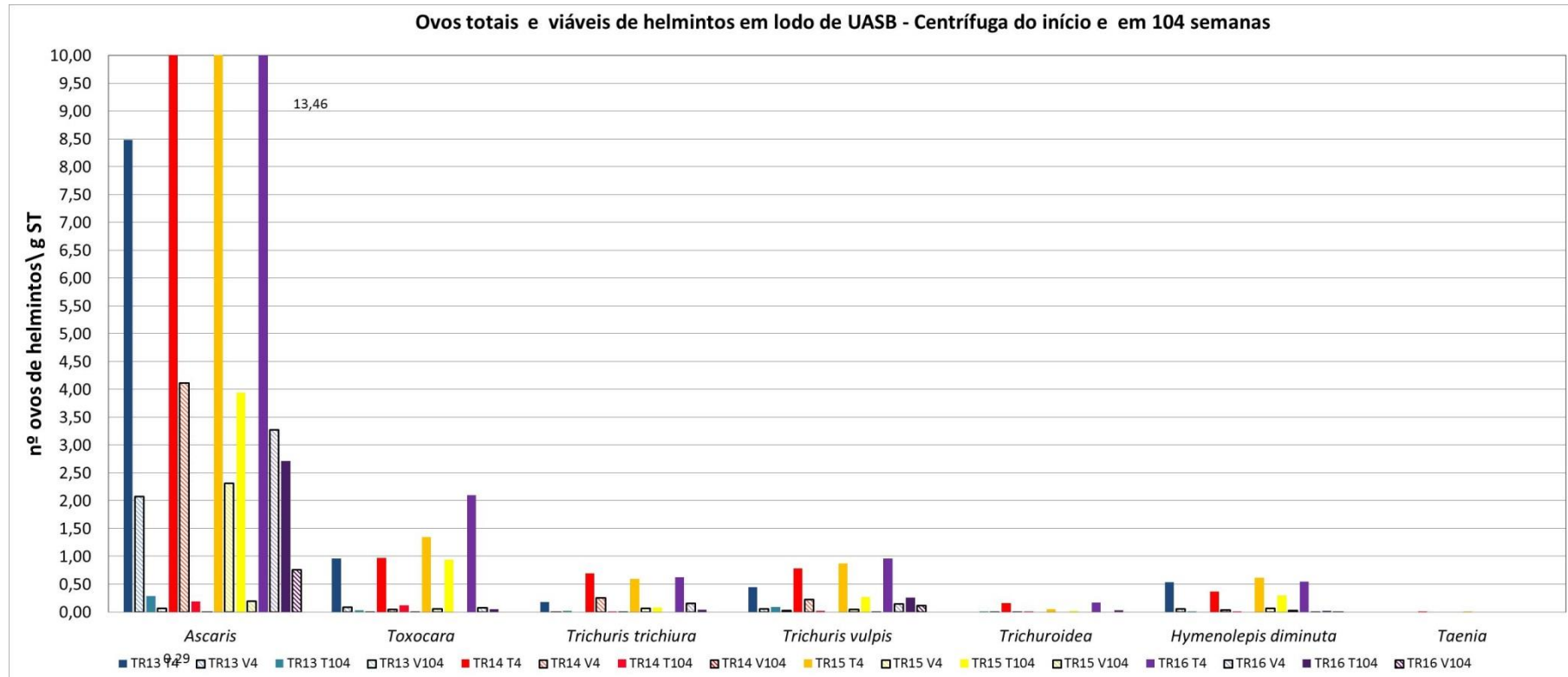


FIGURA 4.35 – CONTAGEM DE OVOS TOTAIS VIÁVEIS DE HELMINTOS EM 4 E 104 SEMANAS NOS TRATAMENTOS REALIZADOS COM LODO UASB DESAGUADO CENTRÍFUGA

NOTA: TR – tratamento; t<sub>4</sub> – total de ovos no tempo 4; t<sub>104</sub> – total de ovos no tempo 104; v<sub>4</sub> ovos viáveis de helmintos no tempo 4 v<sub>104</sub> ovos viáveis de helmintos no tempo 104

Em exames coproparasitológicos, entre os helmintos, também foi observada a alta prevalência de *Ascaris* sp. (VASCONCELOS *et al.*, 2001; ARAÚJO, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2001; SEIXAS *et al.*, 2011; SILVA e SANTOS, 2001).

Ovos de *Ascaris* sp. foram encontrados em 100% das amostras analisadas que apresentavam ovos viáveis, com maior prevalência sobre os demais helmintos, o que já era esperado em virtude da maior resistência de seus ovos no ambiente (SIDHU e TOZE, 2009). Ovos de *Ascaris* sp., seguido por ovos de *Toxocara canis*, são mais resistentes à diferentes tratamentos empregados em virtude de sua espessa casca ou envoltório (Maya *et al.*, 2010). Essa característica do *Ascaris* lhe confere como organismo indicador da sanidade de lodos de esgoto entre os helmintos (LELES, 2012; SIDHU e TOZE, 2009; NAVARRO *et al.*, 2009; THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1999).

Os resultados obtidos refletem o parasitismo da população residente na Região Metropolitana de Curitiba. A prevalência encontrada nos seis tratamentos com lodo séptico foi de: *Ascaris* sp. (75–81%), *T. vulpis* (7–13%), *Trichuris trichiura* (5–7%), *Toxocara* sp. (4–7%), *H. diminuta* (1–2%), *Trichuroidea* (0–1%) e *Taenia* sp. (<1%).

No lodo séptico, o maior número de ovos totais encontrados no início do experimento foi no TR1, com 20,32 ovos totais e destes 6,04 viáveis, sendo 91,7% de *Ascaris* sp. Após 104 semanas, 1,45 ovo ainda estava viável, sendo 1,15 de *Ascaris* sp. e 0,26 ovo de *Trichuris vulpis*, possivelmente por contaminação posterior por cães. No início desse tratamento, 29,70% dos ovos estavam viáveis. Após 104 semanas, 23%, porém com uma redução de 76% de ovos viáveis. Em TR3, a redução foi de 82%. Em TR4, TR5 e TR6, o decaimento foi de 86,6%, 98,3% e 90%, respectivamente.

Na FIGURA 4.36 e Figura 4.37 são apresentados os resultados para as prevalências dos tipos de helmintos, em porcentagem (%) na amostragem das quatro primeiras semanas de experimento.

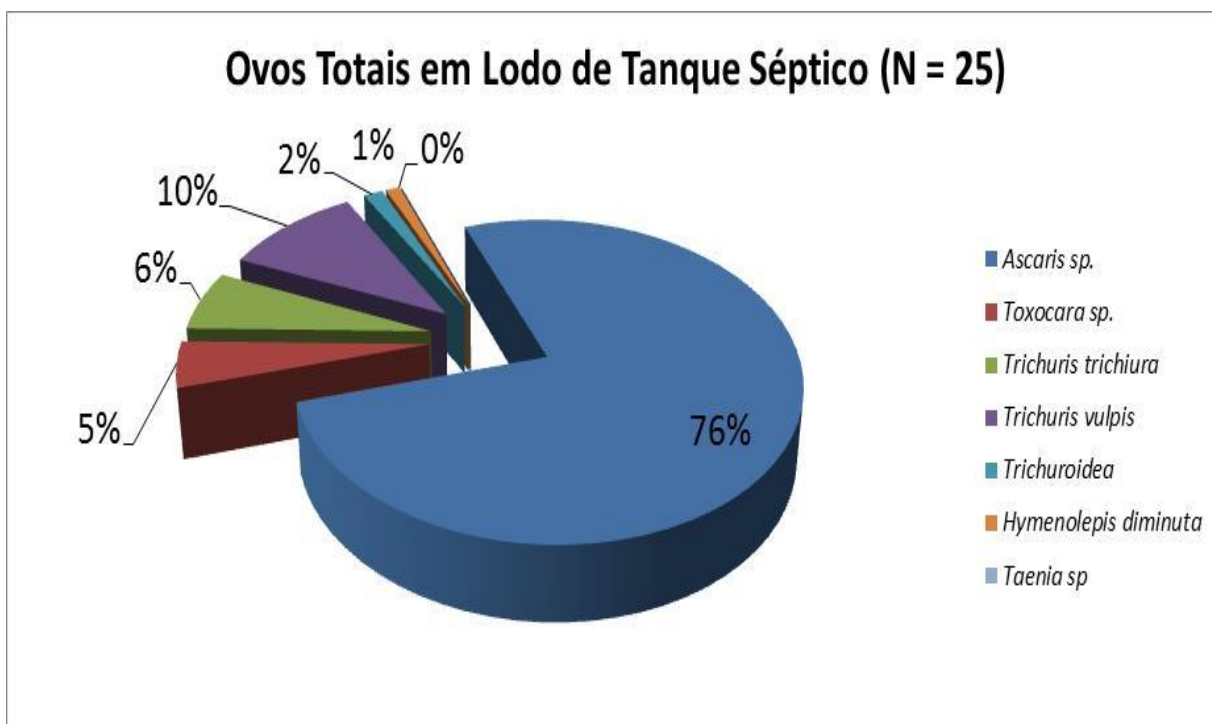


FIGURA 4.36 – PREVALÊNCIA POR ESPÉCIE DE HELMINTO NA CONTAGEM DE OVOS TOTAIS EM LODO DE TANQUE SÉPTICO  
 NOTA: N: NÚMERO DE AMOSTRAS

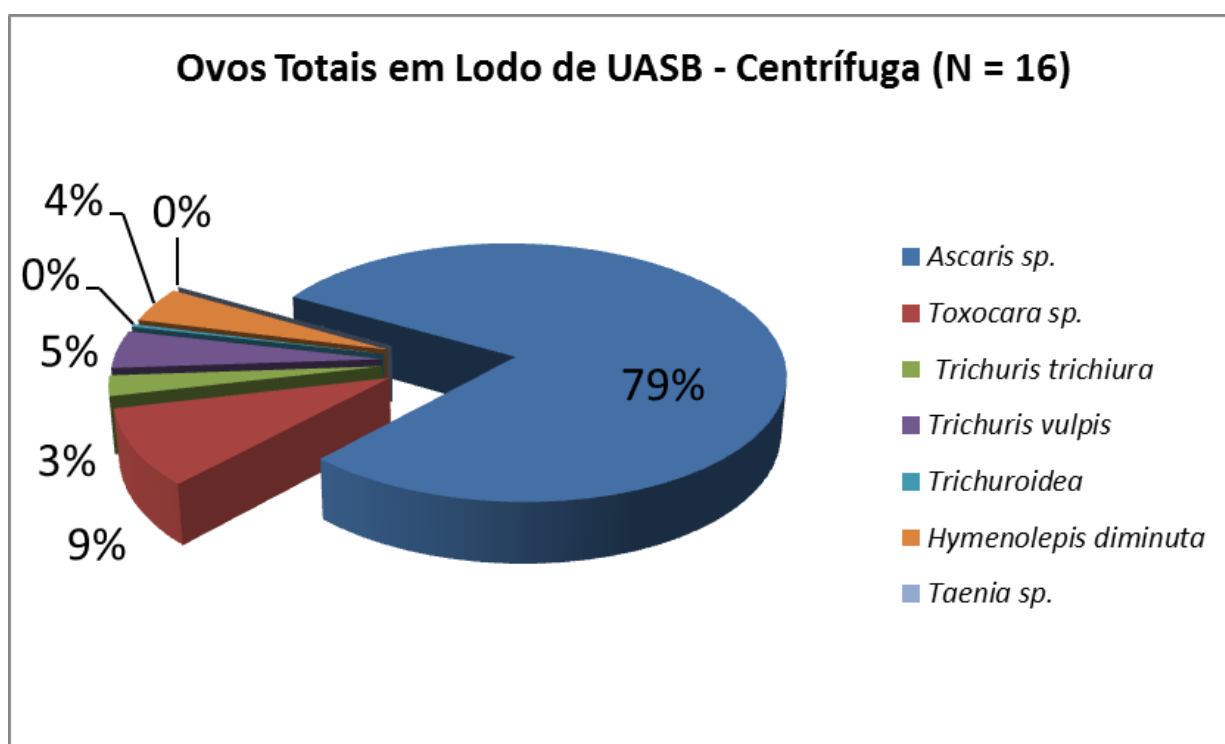


FIGURA 4.37 – PREVALÊNCIA POR ESPÉCIE DE HELMINTO NA CONTAGEM DE OVOS TOTAIS EM L<sub>UASB2</sub>  
 NOTA: N: NÚMERO DE AMOSTRAS

Os valores, por tipo de lodo, são muito próximos pois são oriundos do mesmo lote, e subdivididos no início do experimento. A prevalência em cinco dos seis tratamentos com lodo de UASB LEITO foi de: *Ascaris* sp. (72–83%), *T. vulpis* (12–19%), *Trichuroidea* (1–5%), *Toxocara* sp. (0–3%), *Trichuris trichiura* (0–3%), *H. diminuta* (0–3%) e *Taenia* sp. (<1%).

Godinho (2008) encontrou valores médios de 45,2, 0,3, 8,4 e 8,6 ovos/g MS para *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. e *Hymenolepis* sp, respectivamente, em lodo de UASB.

Canova (2012) encontrou no lodo bruto, amostrado no verão, 24,09 ovos totais de helmintos, destes, 3,49 eram viáveis (2,29 de *Ascaris*; 0,55 *H. diminuta*; 0,3 *T. canis*; 0,25 *Trichuroidea*; 0,05 *T. trichiura*; e 0,05 *T. vulpis*). No lodo amostrado no inverno, a quantidade foi bem menor (2,3 ovos). Destes 1,15 eram viáveis (0,8 de *Ascaris*; 0,15 *H. diminuta*; 0,15 *T. canis*; 0,05 *Trichuroidea*), correspondendo a 50% de viabilidade. No verão, a viabilidade era de 14,48%.

Nos quatro tratamentos com lodo de LUASB2, a prevalência encontrada foi de: *Ascaris* sp. (79–89%), *T. vulpis* (4–5%), *Toxocara* sp. (1–9%), *Trichuris trichiura* (2–5%), *Trichuroidea* (<1%), *H. diminuta* (1–5%) e *Taenia* sp. (<1%).

Resultados semelhantes foram obtidos por Paulino, Castro e Thomaz – Soccol (2001) em biossólido oriundo de ETE por tratamento anaeróbico em reatores UASB na região metropolitana de Curitiba/PR no ano de 1996. Os helmintos encontrados e a prevalência foram de: *Ascaris* sp. (85%), *Toxocara* sp. (5,5%), *Trichuris* sp. (4,5%), *Hymenolepis diminuta* (3,7%), *H. nana* (1%) e *Taenia* sp. (0,4%).

Fernandes e Andreoli (1996) encontraram no lodo da ETE Belém, estação que opera por tratamento aeróbico em Curitiba/PR, por ordem de maior prevalência: *Ascaris lumbricoides*, *H. diminuta*, *T. trichiura*, *H. nana*, *Toxocara* sp. e *Taenia* sp.. Thomaz-Soccol *et al.* (1997) encontraram resultados semelhantes para a mesma ETE: *Ascaris* sp. (75,7%), *Trichuris* sp. (7,4%), *Toxocara* sp. (2,7%) e *H. diminuta* (0,93%).

A fauna parasitária encontrada por Bastos *et al.* (2013) em três ETEs que operam com lodos ativados no Brasil foi: *Ancylostoma* sp., *Ascaris* sp., *Enterobius vermicularis*, *Hymenolepis* sp., *Taenia* sp., *Toxocara* sp., *Trichuris* sp, com prevalência de ovos viáveis de *Ascaris* sp. (10,16%), *Hymenolepis* sp. (5,53%) sobre os demais (2,98%). Para ovos não viáveis, os autores observaram 67,71% de

*Ascaris* sp. e 13,62% de *Toxocara* sp., as concentrações de *Toxocara* sp. foram mais elevadas comparadas às observadas neste trabalho.

Foi encontrada também prevalência significativa de *Trichuris trichiura*, que tem sua presença associada a de *Ascaris lumbricoides*, como reportado por Leles (2010), O'lorcain e Holland (2000) e Rey (2008).

Maiores quantidades de *Trichuris* sp. poderiam estar presentes no esgoto afluyente, contudo seus ovos são mais sensíveis à dessecação e não sobrevivem por tempo prolongado sob baixa umidade, como por exemplo nos lodos desaguados em leitos de secagem e centrífugas (GODINHO, 2003).

Foi observada a presença de *Trichuris vulpis* e *Toxocara* sp. (com menor viabilidade), parasitas fundamentalmente de cães, sendo o homem considerado hospedeiro acidental (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1999). A técnica utilizada possibilita a recuperação de outros ovos como *Toxocara* sp., que tem densidade semelhante a de *Ascaris* sp. e *Trichuris* sp.; seu formato oval possibilita ficar retido na peneira.

Como pode ser observado nas figuras e tabelas, o parasita *Taenia* sp. esteve presente em poucas amostras. Entretanto, as técnicas comumente utilizadas baseiam-se em sedimentação e/ou flutuação, sendo satisfatórias para ovos de nematódeos, porém para ovos de *Taenia* sp. são pouco eficientes (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 2010). Por seu tamanho menor podem não ficar retidos na peneira (BOWMAN *et al.*, 2003).

O *Hymenolepis diminuta* foi encontrado com frequência nas amostras, porém em pequenas concentrações e baixa viabilidade. Esse parasita é essencialmente de ratos que estão presentes no esgoto urbano e também nas ETEs. A presença de cães e ratos na ETE é frequente, com provável contaminação do lodo estocado. A espécie que atinge o homem, *Hymenolepis nana*, pode utilizar pulgas como hospedeiro intermediário, aumentando as chances do parasita onde há presença de mais cães e gatos.

Cabe ressaltar que a não identificação de outros tipos de ovos no lodo pode ser decorrente de algumas doenças não serem endêmicas da região onde o lodo foi coletado, não estando assim presentes nas fezes da população contribuinte.

Há pouca informação sobre o comportamento e a fauna helmíntica nos diferentes processos de tratamento de águas residuárias e no lodo de esgoto resultante desses tratamentos (JIMENEZ-CISNEROS, B. E., 2007a; JIMENEZ-CISNEROS, B. E., 2007b; PAULINO, R. C *et al.*, 2001). JIMENEZ-CISNEROS

(2007a) cita que a maior parte das informações relacionadas aos helmintos no lodo é sobre o *Ascaris* e não reflete situações reais em países em desenvolvimento, onde os ovos de outras espécies de helmintos são comuns, o que ficou evidenciado nos resultados obtidos nesta e em outras pesquisas no Brasil, reportadas neste trabalho, como a de Paulino *et al.*, (2001).

Apesar de estarem em quantidades diferentes, a fauna parasitária encontrada no lodo foi a mesma, tendo como origem diferentes localidades que fazem parte da Região Metropolitana de Curitiba. Parte do lodo séptico utilizado na pesquisa foi oriundo de escolas públicas de Almirante Tamandaré, com elevado número de ovos de helmintos. Ovos de *Ascaris* sp. predominam devido as suas características, já relacionadas ao longo do trabalho, contudo a presença dos ovos dos parasitas detectados são importantes para fins sanitários e ambientais.

#### 4.3 HIGIENIZAÇÃO DE LODO ANAERÓBIO DESAGUADO EM LEITOS DE SECAGEM

##### 4.3.1 Avaliação da higienização de lodo de UASB, desaguado em leitos de secagem, não inoculado

###### 4.3.1.1 Avaliação do desaguamento

Nesta etapa da pesquisa, foram analisadas duas amostras de lodos oriundos de reator UASB da ETE Menino Deus, descarregadas em dois leitos de secagem modificados, de 5x3x0,5 m, denominados L1 e L2. O experimento foi conduzido do dia 23 de abril de 2014, quando ocorreu a descarga, até o dia 29 de maio de 2014. Os dados climatológicos diários referentes ao período do ciclo de secagem do lodo são apresentados a seguir (FIGURA 4.38 – LEITO DE SECAGEM: Valores médios de sólidos totais, altura do lodo, precipitação, temperatura ambiente máxima, média e mínima, umidade relativa do ar).

O teor inicial de sólidos totais nos lodos foi de 3,5 % de ST, chegando-se a 30,1 % em 27 dias com a taxa de aplicação de 15,8 kg de ST /m<sup>2</sup>. No 24º dia, quando foi realizada a análise de ovos de helmintos, o teor de ST era de 23,3% em L1 e 24,7% em L2, com alturas de 10 e 13 cm, respectivamente.



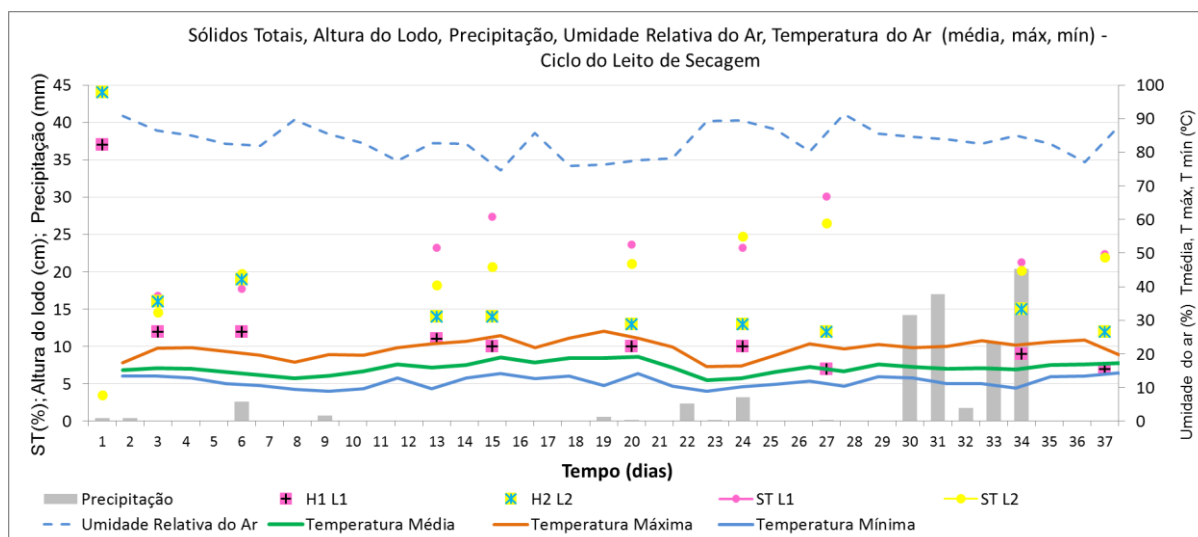


FIGURA 4.38 – LEITO DE SECAGEM: VALORES MÉDIOS DE SÓLIDOS TOTAIS, ALTURA DO LODO, PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA, UMIDADE RELATIVA DO AR

#### 4.3.1.2 Análise da higienização

A concentração inicial de ovos de *Ascaris* em L1 foi 0,72 ovo/g ST, sendo 0,25 viável. Após 23 dias de desaguamento, foi encontrado no lodo 1,25 ovo/g ST de *Ascaris*, sendo 0,47 viável. Em L2 também foi observado aumento no número de ovos após 23 dias em leito. Na primeira amostragem, foi encontrado 0,48 ovo de *Ascaris*, 0,12 estava viável. Decorridos 23 dias, foi encontrado 1,05 ovo por grama de ST, sendo 0,42 viável. O aumento no número de ovos, observado ao final do desaguamento, pode ocorrer devido à sedimentação dos ovos, como reportado por Cherubini *et al.* (2002). Devido à baixa contagem de ovos de *Ascaris* no lodo, que reflete a saúde da população contribuinte, foi realizada nova etapa experimental, sendo inoculado um número conhecido de ovos de *Ascaris summ*.

#### 4.3.2 Avaliação da higienização de lodo de UASB, desaguado em leitos de secagem, inoculado com número conhecido de ovos de *Ascaris summ*

Conforme descrito no item material e métodos, foram avaliados 6 leitos de secagem, de 50 x 50 cm, onde foi depositado lodo do mesmo lote oriundo de reator UASB, três deles com 50 cm de altura e os outros três com 30 cm de altura, sendo inoculado número conhecido de ovos viáveis de helmintos.

### 4.3.2.1 Avaliação do desaguamento

Inicialmente são apresentados os dados climatológicos diários referentes ao período de desaguamento do lodo em leitos de secagem (FIGURA 4.39– Valores médios de precipitação, temperatura ambiente máxima, média e mínima, umidade relativa do ar).

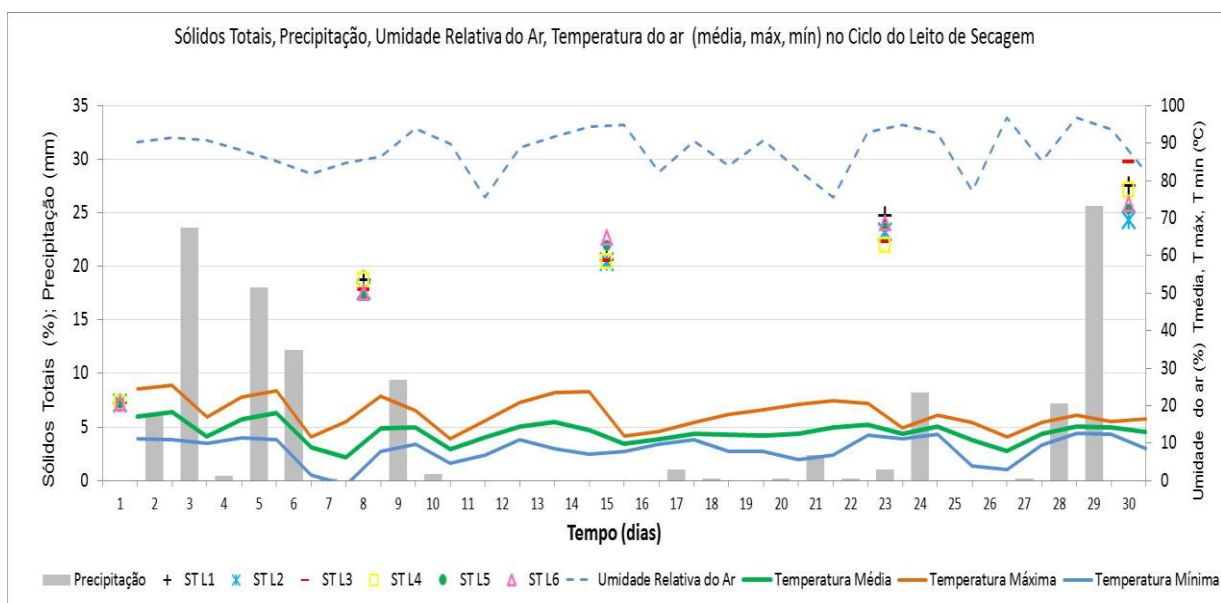


FIGURA 4.39 – LEITO DE SECAGEM: VALORES MÉDIOS DE PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA, UMIDADE RELATIVA DO AR

Durante o desaguamento do lodo em leitos de secagem ocorre perda de umidade e conseqüentemente, incremento do teor de sólidos totais, como ocorreu durante o ciclo de 30 dias (FIGURA 4.41). Em apenas 4 dias, percebe-se a alteração no aspecto do lodo, fluido no 1º dia e já com a textura pastosa no 4º dia (FIGURA 4.40). Durante a secagem do lodo não chegou a ocorrer a formação de gretas; as chuvas constantes, com intervalo de apenas alguns dias entre o 11º e o 16º (FIGURA 4.39), dificultou a perda de umidade.

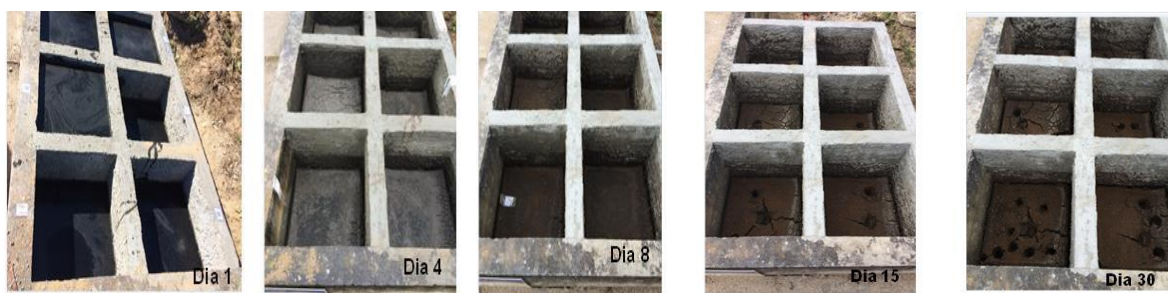


FIGURA 4.40 – Aspecto do lodo em Leitos de secagem nos dias 1, 4, 8, 15 e 30 dias

Nos seis leitos monitorados, o teor inicial de sólidos era de 7,3%, com incremento nos 7 primeiros dias para valores entre 17 e 19%; e ao final, entre 24 e 30% de sólidos totais, valor satisfatório para sua remoção do leito (GONÇALVES *et al.*, 2001). Nos 3 leitos com altura inicial de 30 cm, ao final do ciclo a altura variou entre 11 e 13 cm, enquanto os leitos com 50 cm de altura inicial, ao final estavam entre 18 e 20 cm (FIGURA 4.41). A precipitação durante o ciclo do leito foi de 116,6 mm.

Van Haandel e Letinga (1994) estudaram o desaguamento de lodo anaeróbio em regiões de clima quente utilizando instalação piloto. Para uma carga de sólidos de 15 kg SST/m<sup>2</sup>. a amplitude do tempo de um ciclo foi de 10 a 20 dias, para umidade final de 70 a 10 %.

Aisse e Andreoli (1998) descreveram a avaliação do desaguamento de lodo anaeróbio obtido de reatores de manta de lodo em instalação piloto, localizada em Curitiba. Os resultados do monitoramento durante o ciclo de verão (março de 1997) apresentaram um tempo de 14 dias para obter-se uma concentração de ST de 26%, e de 20 dias para obter-se 31%, ambos para uma carga (taxa de aplicação) de 23,7 kg SST/m<sup>2</sup>. Porém, o tempo do ciclo resultou inferior ao citado por Alem Sobrinho e Samudio (1996) para a latitude de São Paulo – SP.

O resultado dos pilotos para o ciclo de inverno (junho e julho de 1997) foi de 34 dias para obter-se ST de 24,9%, sob precipitação pluviométrica atípica acumulada de 128,2 mm. Os mesmos autores avaliaram o desaguamento em leitos de secagem, escala real, localizados em área contígua a um RALF, na cidade da Lapa – PR. Nessa avaliação, o tempo foi de 29 dias para obter-se ST de 27,6%, para uma precipitação pluviométrica acumulada de 161 mm no período. Em ambos os casos, a carga (altura) de lodo aplicada foi de 40 cm.

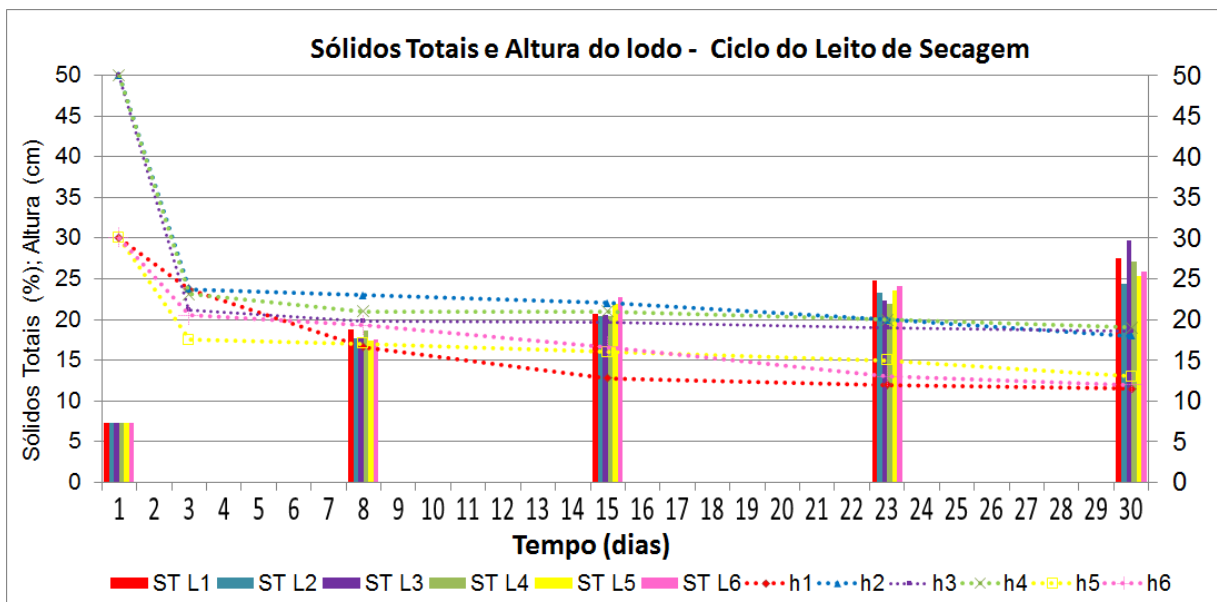


FIGURA 4.41 – TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS (ST) E ALTURA DOS LODOS EM 6 LEITOS DE SECAGEM DURANTE 30 DIAS, NA ETE MENINO DEUS – QUATRO BARRAS– PR.  
 NOTA: ST – Sólidos Totais; L – leito; h – altura

#### 4.3.2.2 Análise da higienização

A Contagem de ovos de *ASCARIS* e coliformes termotolerantes em leitos de secagem é apresentada na FIGURA 4.42.

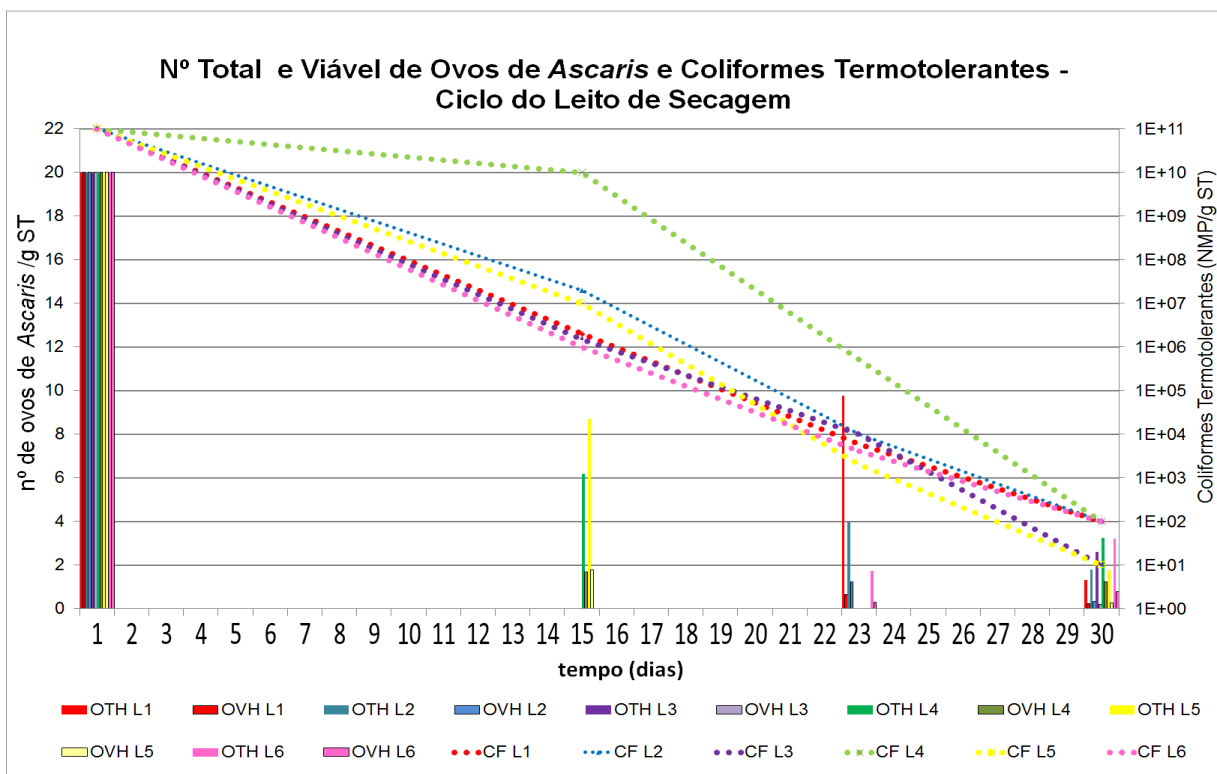


FIGURA 4.42 – CONTAGEM DE OVOS DE *Ascaris* E COLIFORMES TERMOTOLERANTES EM LEITOS DE SECAGEM.  
 NOTA: OTH – Ovos totais de helmintos; OVH – Ovos viáveis de helmintos; CF – Coliformes Termotolerantes

A concentração inicial de coliformes termotolerantes no lodo era da ordem de  $1E^{+11}$  NMP/g ST. O decaimento da bactéria foi rápido e similar entre os leitos, reduzindo a concentração para valores entre  $10^6$  e  $10^7$  NMP/ g ST em 15 dias de permanência do lodo nas unidades, salvo no leito 4 (L4), que teve redução menor ( $10^{10}$  NMP/g ST). Em 30 dias nos leitos de secagem, a contagem final de coliformes termotolerantes evidenciou a eficiência do leito de secagem na destruição da bactéria em densidades inferiores a  $10^2$  NMP/g ST. A eficiência no decaimento da bactéria foi menor no estudo de Santos (2012), que obteve redução da bactéria de  $10^6$  para  $10^5$  em 30 dias (30% ST) e para  $10^3$  após 90 dias no leito.

O número inicial de ovos viáveis de *Ascaris* summ, inoculados no lodo, era de 20 ovos em cada mini-leito. Em 15 dias de permanência do lodo nas unidades, foram realizadas duas análises de ovos de helmintos, em L4 e L5. O número de ovos totais e viáveis, por grama de sólidos totais, em L5 foi de 6,2 e 1,70, respectivamente, enquanto em L5 a contagem foi de 8,8 ovos totais/g ST e 1,8 ovo viável/g ST. No 30º dia, a contagem de ovos por grama de ST para essas duas unidades foi de 3,24 ovos totais, sendo 1,25 ovo viável em L4 e 1,77 ovo total em L5, deste, 0,27 estava viável.

A contagem dos ovos em L1, L2, L3 e L6 foi realizada no 23º dia de permanência dos lodos nos leitos de secagem e no 30º dia. Em L1, foi observado o maior número de ovos totais de *Ascaris* por grama de sólidos totais: 10 ovos, sendo 0,66 viável; no 30º dia, foi encontrado apenas 1,31 ovo por grama de ST do parasita, estando 0,22 viável. Em L2, havia 3,98 ovos/g ST, 1,24 estava viável no 23º dia; ao final do ciclo de secagem no leito foi encontrado 1,81 ovo total/g ST, sendo 0,33 viável. Em L3, foi encontrado no 23º dia apenas 0,08 ovo/g ST do parasita, sem viabilidade, contudo, na amostragem do 30º dia foram encontrados 2,62 ovos totais/g ST e 0,20 estava viável. Em L6, o número de ovos encontrados na amostragem do 30º dia também foi inferior ao do 23º dia. Ao final do ciclo do leito, em 30 dias, a contagem de ovos de *Ascaris* total por grama de sólidos totais foi de 3,21 ovos/g ST, estando 0,77 ovo/g ST viável; enquanto no 23º dia foi encontrado 1,72 ovo/g ST de *Ascaris* e 0,28 ovo/g ST estava viável.

A eficiência do leito de secagem na inviabilização de ovos de helmintos variou de 93,8% (L4) a 99% (L3). Nos leitos L1 e L3, o número de ovos de *Ascaris* ficou abaixo de 0,25 ovo viável/g ST; nos demais leitos, os números foram inferiores a

1,25 ovo viável/g ST. Apesar de não atingir o limite estipulado pela Resolução Conama para uso agrícola (<0,25 ovo viável/g ST), o leito de secagem mostrou-se um bom mecanismo de desinfecção e inviabilização de ovos de helmintos, como pôde ser observado nos resultados obtidos. A elevação da temperatura e a redução da umidade do lodo contribuem para o decaimento de patógenos, permitindo branda desinfecção (GONÇALVES *et al.*, 2001).

A eficiência do leito de secagem na redução do número de ovos de helmintos em lodo de UASB também foi reportada por Santos (2012); após 90 dias em leito de secagem, a contagem foi reduzida de 10<sup>7</sup> para 2,84 ovos viáveis/ g ST; contudo, a eficiência na redução de coliformes termotolerantes foi menor do que a obtida nesta pesquisa. Correia (2015) também reporta maior eficiência do leito de secagem na inviabilização de ovos de helmintos, de 67,6 ovos viáveis por g/ST para ausência, em um ciclo de 3 meses, enquanto a redução de coliformes termotolerantes foi da ordem de 10<sup>7</sup> para 10<sup>5</sup> NMP/g ST. As pesquisas desenvolvidas por Correia (2015) e Santos (2012) foram realizadas no Estado da Bahia, a manutenção da alta população de coliformes termotolerantes pode ter sido influenciada pelas altas temperaturas do ar. Durante o período avaliado por Correia (2015), as temperaturas médias ficaram entre 26 e 40 °C, muito superiores às observadas na Região Metropolitana de Curitiba, durante os 30 dias de monitoramento dos leitos, que variaram de -1,1 a 25,4 °C, tendo como temperatura média 13 °C.

## 5 CONCLUSÕES

Ao final de 104 semanas de estocagem do lodo nos 18 tratamentos, as concentrações de coliformes termotolerantes estavam abaixo de  $10^3$  NMP/g ST. Os resultados encontrados indicam que a estocagem prolongada proporcionou a redução desse microrganismo a níveis seguros para a utilização agrícola do lodo nas condições a que foram submetidos.

A bactéria coliforme termotolerante mostrou ser a mais sensível as condições ambientais, comparadas aos outros microrganismos. Entre as localidades, a bactéria mostrou-se mais sensível as condições ambientais de Apucarana, quando expostas a céu aberto.

Quanto ao fator cobertura, o decaimento de coliformes termotolerantes foi mais rápido nos tratamentos realizados sob cobertura quando comparados aos expostos a céu aberto em Fazenda Rio Grande em lodo de UASB, desaguados de diferentes formas.

A bactéria *Salmonella* spp. mostrou-se sensível a condição de estocagem no ambiente, tendo um decaimento acentuado nos lodos já nas primeiras semanas de estocagem. Porém, mesmo em baixas densidades, permaneceu nos lodos por até 61 semanas.

Entre as localidades, a condição ambiental de Apucarana favoreceu o decaimento da bactéria quando exposta a céu aberto, diminuindo seu tempo de sobrevivência para 30 semanas em lodo séptico e 47 semanas em lodo de reator UASB.

O declínio desta bactéria também foi mais rápido quando armazenada no lodo em pátio coberto, sem estar exposta às chuvas, que favorecem sua sobrevivência pelo aumento de umidade.

Quanto ao fator revolvimento, foi observado o efeito positivo, principalmente nas quatro primeiras semanas de estocagem do lodo, que foi quando ocorreu o declínio mais acentuado da *Salmonella*.

Os resultados encontrados indicam que a estocagem prolongada proporcionou a redução da *Salmonella*, em atendimento ao Conama 375/2006 para a utilização agrícola do lodo, nas condições a que foram submetidos.

A diferença climatológica entre os municípios mostrou-se um diferencial no decaimento dos microrganismos. Os tratamentos realizados no município de

Apucarana foram mais eficientes do que os realizados no município de Fazenda Rio Grande. Os principais fatores observados foram as condições meteorológicas, como a exposição à luz solar, a umidade relativa do ar mais baixa e a temperatura ambiente maior, comparadas às condições observadas em Fazenda Rio Grande.

O processo de revolvimento manual teve pouca influência sobre o resultado final do processo de inviabilização dos ovos de helmintos.

Em relação ao fator cobertura, foi observada a condição coberta como a mais favorável nos tratamentos quanto a inviabilização de ovos de helmintos.

Quando as concentrações forem inferiores a 3 ovos viáveis por grama de massa seca, a estocagem prolongada do lodo por 1 (um) ano pode ser considerada como método de higienização segura do lodo, em relação ao parâmetro ovos de helmintos. O fator limitante ao tempo de higienização menor do que 1 (um) ano foi em relação a presença da bactéria *Salmonella* sp., recomenda-se o processo de revolvimento, nestas condições, por ser mais eficiente na destruição desta bactéria podendo acelerar o processo de higienização do lodo.

Para concentrações de ovos viáveis de helmintos de até 10 ovos/g ST em lodos oriundos de reator UASB o tempo de dois anos de estocagem de lodo pode ser suficiente para higienização dos lodos, contudo, recomendamos que seja realizado o monitoramento da qualidade do lodo por pelo menos três meses consecutivos após a confirmação da inviabilidade dos ovos. Para este período de estocagem prolongada do lodo, o processo de revolvimento manual não é recomendado por ter pouca influência sobre o resultado final do processo de inviabilização dos ovos de helmintos, que é o indicador limitante nestas condições. Foi observada a condição de disposição sob cobertura como mais favorável nos tratamentos quanto ao decaimento da *Salmonella* sp e na eficiência da inviabilização de ovos de helmintos.

A fauna parasitária encontrada no lodo séptico e anaeróbio foi: *Ascaris* sp., *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *T. vulpis*, *Trichuroidea*, *H. diminuta* e *Taenia* sp.. Ovos de *Ascaris* foram encontrados em 100% das amostras analisadas com maior prevalência sobre os demais helmintos. Foi evidenciada a alta resistência de *Ascaris* sp. a condições adversas e a longos períodos de estocagem prolongada sobre os demais helmintos.

O leito de secagem mostrou-se um mecanismo adequado de desinfecção de lodo anaeróbio, com eficiência de 99% na redução de coliformes e de ovos viáveis



de *Ascaris summ*, apesar de não atingir o limite estipulado pela Resolução Conama para uso agrícola. Como geralmente o leito é utilizado para ETEs de pequeno e médio porte, apresenta-se então uma vantajosa higienização preliminar.

### **Respostas às hipóteses**

**O prazo (dois anos) de estocagem prolongada de lodo anaeróbio e tanques sépticos reduz o número de patógenos, viabilizando seu uso na agricultura, dentro dos parâmetros da Resolução CONAMA 357/2006 para lodo classe A.**

Atende parcialmente.

Dois anos de estocagem prolongada foram suficientes para a redução das bactérias em todos os tratamentos, em atendimento aos valores estabelecidos pela Resolução; e também na inviabilização de ovos de helmintos em lodo de UASB desaguado em leitos de secagem que apresentaram valores iniciais inferiores a 3 ovos viáveis de helmintos por grama de sólidos totais. No lodo reator UASB com número superior de ovos viáveis de helmintos e no lodo séptico a inviabilização dos ovos (<0,25 ovo/g ST) não ocorreu em todos os tratamentos (Tabela 4.7).

**A umidade do lodo está relacionada à redução de organismos patogênicos.**

**A cobertura de lodo em estocagem prolongada atua favoravelmente no tempo de higienização de patógenos, em lodo anaeróbio e lodo de tanque séptico.**

As duas hipóteses foram atendidas.

Entre os tratamentos realizados em pátio coberto e descoberto, a secagem do lodo foi mais rápida e alcançou teores de sólidos totais maiores nas unidades experimentais sob cobertura. A precipitação foi a condição que mais influenciou na umidade dos lodos, sendo que as unidades desprotegidas tiveram menor perda de umidade.

**O processo de revolvimento do lodo em estocagem prolongada atua favoravelmente no tempo de higienização de patógenos em lodo anaeróbio e lodo de tanque séptico.**

Atende parcialmente.

O decaimento de coliformes termotolerantes foi similar em ambas as condições, com e sem revolvimento, portanto as condições não se apresentaram como um diferencial no tempo de decaimento das bactérias.

O revolvimento promoveu um declínio maior da *Salmonella* spp. nos lodos, mais efetivo nas quatro primeiras semanas de estocagem.

A avaliação da operação de revolvimento demonstrou uma baixa eficiência no processo de higienização para o decaimento de ovos de helmintos.

**O leito de secagem, utilizado no desaguamento do lodo de esgoto, é eficaz na redução de organismos patogênicos.**

Atende.

O leito de secagem mostrou-se um bom mecanismo de desinfecção e inviabilização de ovos de helmintos, apesar de não atingir o limite estipulado pela Resolução Conama para uso agrícola de ovos viáveis de helmintos em 30 dias.

## 6 RECOMENDAÇÕES

As recomendações a serem consideradas na continuidade desta pesquisa, incluem:

- a ampliação da investigação do decaimento de microrganismos indicadores de lodos por estocagem prolongada em outras estações de tratamento de esgotos, de regiões distintas do país.
- podem ser realizadas pesquisas, em laboratório, para investigar o mecanismo de predação/competição dos protozoários e bactérias no lodo.
- o monitoramento de vírus entéricos em pesquisas posteriores de estocagem prolongada.
- o aumento da frequência do revolvimento nas unidades experimentais visando acelerar o processo de secagem do lodo.
- a inoculação do lodo com ovos de helmintos para avaliar melhor o decaimento do microrganismo e assegurar números suficientes para a análise estatística.
- monitorar o leito de secagem por mais de 30 dias, no experimento de higienização de lodo em leitos de secagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistemas de tanque séptico. Rio de Janeiro, 1993.

AHMED, A. U.; SORENSEN, D. L. Kinetics of pathogen destruction during storage of dewatered biosolids. **Water Environmental Research**, v. 67, n. 2, p. 143–150, 1995.

AHMED, A. U.; SORENSEN, D. L. Autoheating and pathogen destruction during storage of dewatered biosolids with minimal mixing. **Water environment research**, v. 69, n. 1, p. 81-94, 1997.

AISSE, M.M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 192p., 2000.

AISSE, M.M.; AMARAL, C.; SOVIERSOSKI, A. **Estudo da desidratação do lodo anaeróbio obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem**. Relatório impresso, ISAM. Curitiba, 1998. 8p.

AISSE, M. M. ; ANDREOLI, F. N. Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem e de centrífuga tipo decanter. I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul. **Anais**. Curitiba, 1998. P. 239-45.

AISSE, M.M.; ANDREOLI, F.N. de. Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem e de centrífuga tipo decanter. **Sanare**, v.l 1 n.l 1, 1999 (p37-43).

AISSE, M. M.; FERNANDES, F.N de; SILVA, S. M. C. P. da. Aspectos tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.. de; FERNANDES, F. (Org.) **Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, p.49-119.

AISSE, M.M.; VAN HAANDEL, A.C.; VON SPERLING, M.; CAMPOS, J.R.; COURACCI FILHO, B.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios. In: Campos, J.R. (coord.). In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. ABES, Rio de Janeiro, RJ, 1999. cap. 11, p.271-299.

AITKEN, M.D; SOBSEY, M.D.; BLAETH, K.E.; SHEHEE, M.; CRUNK, P.L.; WALTERS, G.W. (2005) Inactivation of *Ascaris suum* and poliovirus in biosolids under thermophilic anaerobic digestion conditions. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 15, p. 5804-5809.

ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e produção de lodo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. 1. ed. São Paulo: Sabesp, 2001. p. 7 - 40.

ALEM SOBRINHO, P.; COMPARINI, J. B. Efeitos da secagem em estufa agrícola no decaimento de patógenos presentes em biossólidos. In: **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003**, Joinville/SC. CD 22 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003.

ALEM SOBRINHO, P., SAMUDIO, E. M. . Desidratação de lodos de reator UASB em leitos de secagem-determinação de parâmetros. In: **Consolidación para el desarrollo**. AIDIS, 1996. p. 1-9 [t. 3].

ALMEIDA, G. C., FANHANI, J.C., OLIVEIRA, P.S., DIAS FILHO, B. P. Eficiência dos processos químico e térmico na higienização de lodo de esgoto. **Iniciação Científica CESUMAR**, v.08, n.01, pp. 95-99, jan./jun., 2006.

ALOUINI, Z.; JEMLI, M. Destruction of helminth eggs by photosensitized porphyrin. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 3, n. 5, p. 548-551, 2001.

ALVES, J. R.; MACEDO, H. W.; RAMOS JÚNIOR, N. A.; FERREIRA, L. F.; GONÇALVES, M. L. C.; ARAÚJO, A. Parasitoses intestinais em região semi-árida do Nordeste do Brasil; resultados preliminares distintos das prevalências esperadas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n. 2, p. 667-670, 2003.

AMAHMID, O.; ASMAMA, S.; BOUHOUM, K. Urban wastewater treatment in stabilization ponds: occurrence and removal of pathogens. **Urban water**, v. 4, n. 3, p. 255-262, 2002.

AMUDA, O.S.; DENG, A.; ALADE, A.O.; HUNG, Y-T. Biosolids Engineering and Management. In: WANG, L. K., SHAMMAS, N. K., HUNG, Y. T. **Conversion of sewage sludge to biosolids**. Nova York: Humana Press, 2008, p. 65-115.

ANDERSON, T.J. *Ascaris* infectious in humans from North America: molecular evidence for cross-infection. **Parasitology**, v. 110, p. 215-219, 1995.

ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS J. R. Introdução. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de Esgoto Sanitário por Processo Anaeróbico e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 1, p.1-28. 1999.

ANDRAUS, S., MEDEIROS, M. D., BORGES, J., SILVA, S. D., TOLEDO, E. Agentes patogênicos: bactérias entéricas. Reciclagem de Biossólidos. Transformando problemas em soluções. Curitiba: Sanepar, Finep, 1999. 288 p.

ANDRAUS, S., BORGES, J. C., MEDEIROS, M. L. B. D., TOLEDO, E. B. S. Eficiência da calagem na remoção de bactérias entéricas, no lodo aeróbio da ETE-Belém, em Curitiba-PR. **Sanare -Revista Técnica da Sanepar**, v. 10, n. 10, pp.57-62, 1998.

ANDREOLI, C. V. *et al.* Lodo de esgoto higienizado por diferentes processos como fertilizante de culturas em sistema de agricultura familiar. **Relatório técnico final**. Sanepar, 2011.

ANDREOLI, C. V., TAMANIN, C. R., HOLSBACH, B., PEGORINI, E. S., NEVES, P. S. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: **Biossólidos – alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2006.

ANDREOLI, C.V. PEGORINI E., FERNANDES F.In: ANDREOLI, C.V. (Coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro : RiMa/ABES, 2001.

ANDREOLI, C.V.; POMPEO, R.P. Introdução. In: Cleverson Vitório Andreoli (Projeto PROSAB). (Org.). **Lodo de fossa séptica: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009, v. 5, p. 41-75.

ANDREOLI, C.V., LARA A.I., FERREIRA, A.C., BONNET B.R.P., PEGORINI E.S. A gestão dos biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto doméstico. **Engenharia e Construção**, n. 24, 1988.

ANDREOLI, C. V.; CARVALHO, E. H. DE MEYER, S. A. S.;Lodos de Fossa e Tanques Sépticos no Brasil. In: Eraldo Henriques de Carvalho e Cleverson Vitório Andreoli. (Org.). **Lodos de Fossa e Tanque Séptico: orientações para definição de alternativas de gestão e gerenciamento**. 1ed.Curitiba/PR: ABES, 2015, v. 1, p. 35-47.

ANGELAKIS, A. N.; KOUTSOYIANNIS, D.; TCHOBANOGLIOUS, G. Urban wastewater and stormwater technologies in Ancient Greece. **Water Research**. n. 39, p. 210-220, 2005.

ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K., STEFFEN, R. B. Utilização de casca de arroz e esterco bovino como substrato *Eisenia fetida* Savigny (1826). **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 824-830, 2009.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater**. 19º Ed, Washington D.C., 2012.

ARAUJO; V. A. D. Levantamento e aspectos epidemiológicos de helmintos em humanos no município de Seropédica, RJ. **Rev. Ele. Novo Enfoque** – Universidade

Castelo Branco, v.5, n. 5, 12 p. Outubro de 2007. Disponível em: <<http://www.castelobranco.br/sistema/novoenfoco/files/05/05.pdf>>. Acesso em: 26 jan.2013.

ARCAK, S., KARACA, A., ERDOGAN, E., TÜRKMEN, C. A study on potential agricultural use of sewage sludge of Ankara wastewater treatment plant. In: **Proceedings of the International Symposium on Desertification**. 2000. p. 345-349.

ARTHURSON, Veronica. Proper sanitization of sewage sludge: a critical issue for a sustainable society. **Applied and environmental microbiology**, v. 74, n. 17, p. 5267-5275, 2008.

ASSIS, E. M. DE. **Prevalência de enteroparasitoses e condições sanitárias na comunidade indígena Maxakali** / Dissertação (mestrado) – Universidade Vale do Rio Doce – Governador Valadares, MG, 2010. 105 f.

ASSUNÇÃO, F. A. L.; HENRIQUE, C. S. **Gerenciamento do lodo da ETE Violeira visando o uso agrícola**. 2006, 79f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2006.

AZEVEDO NETTO, J.M. Cronologia do abastecimento de água (até 1970) In: **Revista DAE**, v.44, n.137, p.106-111, jun.1984.

AUSTRALIA & NEW ZEALAND. **Biosolids Partnership**, 2013

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

BAPTISTA, S. C. *et al.* Análise da incidência de parasitoses intestinais no município de Paraíba do Sul, RJ. **RBAC**, v. 38, n. 4, p. 271-273, 2006.

BARÉS, M. E.; NOYOLA, A.; BRAGA, S. M.; AISSE, M. MA.; BRAGA, M. C. B. Aperfeiçoamento do método para determinação de ovos viáveis de helmintos em lodo de esgoto. In: XXXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2010, Punta Cana, Rep. Dominicana. **Anais...** Punta Cana, Rep. Dominicana: AIDIS, 2010. p. 1-8.

BARONY, F. J. A.. **Biossólidos: produção, efeitos no crescimento de mudas de eucalipto e avaliação de risco à saúde humana**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2011. 153f

BARROS, K. K., FLORÊNCIO, L., KATO, M. T., & GAVAZZA, S. Desaguamento e estabilização alcalina de lodo anaeróbio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais Eletrônicos**: Abes/MS, 2005, CD-ROM.

BASTOS, V. K., CUTOLO, S. A., DORIA, M. D. C. O., & RAZZOLINI, M. T. P. Detection and quantification of viable *Ascaris* sp. and other helminth eggs in sewage sludge. **International journal of environmental health research**, v. 23, n. 4, p. 352-362, 2013.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MARA, D. D.. Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileira, estadunidense e britânica de qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola. **Revista DAE**, v. 191, p. 10-20, 2013.

BELLI FILHO, P., RITA, F., SOARES, H. M., MEDEIROS, N. R., MATIAS, W., & CASTILHOS JR, A. B. Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos integrada com lodo de tanque séptico associado ao tratamento de lixiviado em reator UASB. In: **CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**. 2002. p. 1-7.

BERG, G. e BERMAN, D. Destruction by anaerobic mesophilic and thermophilic digestion of viruses and indicator bacteria indigenous to domestic sludges. **Applied and environmental microbiology**, v. 39, n. 2, p. 361-368, 1980.

BERGGREN, I.; ALBIHN, A.; JOHANSSON, M. The effect of temperature on the survival of pathogenic bacteria and *Ascaris suum* in stored sewage sludge. **Proceedings of Ramiran**, p. 53-56, 2004.

BINSZTEIN, N. *et al.* WHO Global Salm-Surv (WHO GSS) in the South American Region: five years (2000–2004) of *Salmonella* surveillance. In: **International Conference on Emerging Infectious Diseases, Atlanta, Georgia**. 2006.

BITTENCOURT, S. **Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no Estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução Conama 375/06** 173 fls. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Universidade Federal do Paraná, 2014.

BITTENCOURT, S. ; SERRAT, B. M. ; AISSE, M. M. ; GOMES, D. . Sewage Sludge Usage in Agriculture: a Case Study of Its Destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution** (Dordrecht. Online), v. 225, p. 2074, 2014.

BITTENCOURT, SIMONE ; SERRAT, B. M. ; ANDREOLI C.V. ; MOURA, E.N. ; TOGNY, F. L. ; SILVA, L.A.T.P. . Lodo de esgoto submetido ao revolvimento: efeito sobre sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos Sewage sludge. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais** (PUCPR. Impresso), v. 11, p. S191-200, 2013.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M. ; GOMES, D. Sewage Sludge Usage in Agriculture: a Case Study of its Destination in Curitiba Metropolitan Region. In: X Oficina e Seminário Latino Americano de Digestão Anaeróbia (DAAL), 2011, Ouro Preto. **Anais...** 2011.



BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C.V.; ALCEU MOCHIDA, G.; MARIN DE SOUZA, L. M. K. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região Metropolitana de Curitiba. **Revista AIDIS**, v. 2, n.1, p. 1-11, 2009.

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. Willey series in ecological and applied microbiology. USA: Willey-Liss Inc, 1994. p.127.

BLACK, M. I., SCARPINO, P. V., O'DONNELL, C. J., MEYER, K. B., JONES, J. V., & KANESHIRO, E. S. Survival rates of parasite eggs in sludge during aerobic and anaerobic digestion. **Applied and environmental microbiology**, v. 44, n. 5, p. 1138-1143, 1982.

BLAXTER, M; DENVER, Dee R. The worm in the world and the world in the worm. **BMC biology**, v. 10, n. 1, p. 57, 2012.

BLOCK, J.C. Biological health risks of sludge disposal. In: BLOCK, J.C.; HAVELAAR, A.H.; L'HERMITE, P.L. eds. **Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge: knowledge and needs**. Inglaterra: Elsevier Applied Science Publishers. 1986. p.123-132.

BOGNOLA, I. A.; FERREIRA, C.; CURCIO, G.R.; KOEHLER, A.; PIRES, D.R.J. **Levantamento pedológico semidetalhado da Fazenda Experimental Gralha Azul – PR, município de Fazenda Rio Grande – PR**. Curitiba: PUCPR, 2003.

BOROWSKI, S.; SZOPA, J. S. Experiences with the dual digestion of municipal sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1199–1207, 2007.

BOWMAN, D.D.; LITTLE, M.D.; REIMERS, R.S. Precision and accuracy of an assay for detecting *Ascaris* eggs in various biosolids matrices. **Water Research**, v. 37, p. 2063-2072, 2003.

BRASIL. **Lei nº. 11.445/2007 - Lei Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: Presidência da República, Casa Civil. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA nº 375. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 167, 30 ago 2006, p. 141-146.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 4954 de 14 de janeiro de 2.004**. Aprova e regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Disponível em: <<http://www.oc4j.agricultura.gov.br/agrolegis/do/consulta>> Acesso em dez. 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. 2014. Disponível em< <http://www.cidades.gov.br/>> Acesso em mar 2015.

BRENNER FW, VILLAR RG, ANGULO FJ, TAUXE R, SWAMINATHAN B. *Salmonella*. Nomenclature. **J Clin Microbiol**. 2000; 38 (7): 2465–2467.

BROOKS, G. F.; CARROLL, K.C.; BUTEL, J. S.; MORSE, S. A.; **Jawetz, Melnick e Adelberg: Microbiologia Médica**. 24 ed. Rio de Janeiro: McGraw Hill, 820p, 2009.

BRUCE, A. M.; PIKE, E. B.; FISHER, W. J. A review of treatment process options to meet the EC sludge Directive. **Water and Environment Journal**, v. 4, n. 1, p. 1-13, 1990.

BUENO, R.C.R. Biossólido: **Processo de Redução Adicional de Patógenos com a Utilização de Energia Solar**. 2000, 46p. Dissertação de Mestrado: Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, 2000.

BUENO, R.C.R. Biossólido – Processo de redução adicional de patógenos com a utilização de energia solar. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa/PB. **Anais...**João Pessoa: ABES, 2001.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2012.

CARRINGTON, E. G. **Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction - Final report**. Study contract, n. B4-3040, p. 322179, 2001.

CARVALHO, E. H. DE; ANDREOLI, C. V. MEYER, S. Lodos de Fossa e Tanques Sépticos no Brasil. In: Eraldo Henriques de Carvalho e Cleverson Vitório Andreoli. (Org.). Lodos de Fossa e Tanque Séptico: orientações para definição de alternativas de gestão e gerenciamento. 1ed. Curitiba/PR: ABES, 2015, v. 1, p. 35-47.

CASTRO A.Z, VIANA J.D.C, PENEDO A.A., DONATELE D.M. Levantamento das parasitoses intestinais em escolares da rede pública na cidade de Cachoeiro do Itapemirim, ES. **NewsLab** 64: 140-144, 2004.

CASTRO, E. A., TRACZ, J., PAULINO, R., THOMAZSOCCOL, V. Correlação entre a prevalência de enteroparasitoses na população e a presença de patógenos no lodo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO, 2000, Vitória. **Anais....** Vitória: 2000.

CAVINATTO, A de S.; PAGANINI, W. da S. Os microorganismos nas atividades de disposição no solo: estudo de caso. In.: **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro. 2007, v. 12. N.1. jan/mar, p. 42-51.

CATARAMÉ, T.M.G., O'HANLON, K.A., MCDOWELL, D.A., BLAIR, I.S., DUFFY, G. Comparison of a real-time polymerase chain reaction assay with a culture method for the detection of *Salmonella* in retail meat samples. **Journal of food safety**, v. 26, n. 1, p. 1-15, 2006.

CETESB: Companhia de Tecnologia Ambiental. **Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas**: Critérios para Projeto e Operação. Manual técnico. Norma P4230. São Paulo, ago.1999.

CETESB. Coliformes fecais - Determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 - Método de ensaio. **Norma Técnica CETESB L5-406**, 1992, 20 p.

CHEN, H., YAN, S. H., YE, Z. L., MENG, H. J., ZHU, Y. G. Utilization of urban sewage sludge: Chinese perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 19, n. 5, p. 1454-1463, 2012.

CHEN, H. D; FRANKEL, G. Enteropathogenic *Escherichia coli*: unravelling pathogenesis. **FEMS microbiology reviews**, v. 29, n. 1, p. 83-98, 2005.

CHEN, Y. C., MURTHY, S. N., HENDRICKSON, D., ARAUJO, G., & HIGGINS, M. J. The effect of digestion and dewatering on sudden increases and regrowth of indicator bacteria after dewatering. **Water Environment Research**, v. 83, n. 9, p. 773-783, 2011.

CHENG, H.; XU, W.; LIU, J.; ZHAO, Q.; HE, Y.; CHEN, G. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. **Ecological Engineering**, 2007. v. 29, p. 96-104.

CHERNICHARO, C.A.L.; CASTRO, J..C.S.; ZERBINI, A.M.; GODINHO, V.M. Inactivation of *E. coli* and helminths eggs in aerobic and anaerobic effluents using UV radiation. **Water Science and Technology**, v. 47, n. 9, p. 185-192, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. v. 5, 246p.

CHERUBINI, C.. ANDREOLI, C.V.. FERREIRA, A.C.. CARNEIRO, C. **Secagem e Higienização do Lodo de Esgoto Anaeróbico em Leitos de Secagem através da Solarização**. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – VI: 2002.

COFIE, O.; KONE, D.; ROTHENBERGER, S.; MOSER, D.; ZUBRUEGG, C.. Co-composting of faecal sludge and organic solid waste for agriculture: Process dynamics. **Water research**, v. 43, n. 18, p. 4665-4675, 2009.

COHEN, M.L. Changing patterns of infectious diseases. **Nature**, v.406, p.762-767, 2000.

COMPARINI, J. B. e ALÉM SOBRINHO, P.. Efeitos da secagem em estufa agrícola no decaimento de patógenos presentes em biossólidos. In: **Saneamento Ambiental: Ética e Responsabilidade Social**. ABES, 2003. p. 1-39.

COMPARINI, J. B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa.** 2001. 278 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.420-426, 2007.

CORREIA, J. E. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONTORNO. FEIRA DE SANTANA, BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 2, n. 2, 2015.

CZECHOWSKI, F.; MARCINKOWSKI, T.. Sewage sludge stabilisation with calcium hydroxide: Effect on physicochemical properties and molecular composition. **Water research**, v. 40, n. 9, p. 1895-1905, 2006.

CZERSKA A; SMITH, S.R.. Effects of air-drying and storing sewage sludge biosolids on enteric pathogens, indicators and nutrients. **Centre for Environmental Control and Waste Management Imperial College London, London**, 2008.

DAHAB, M. F.; SURAMPALLI, R. Y.. Effects of aerobic and anaerobic digestion systems on pathogen indicator reduction in municipal sludge. **Water Science and Technology**. Vol. 46(10), 181-187 p. 2002.

DA SILVA JÚNIOR, É. D., DE ARAÚJO ALMEIDA, R., SIQUEIRA, E. R., DA SILVA, Á. R., & DE MELO RODRIGUES, A. Tratamento de resíduos sépticos em wetlands construídos de fluxo vertical. **Revista Engenharia e Construção Civil (ISSN 2358-0259)**, v. 2, n. 2, 2015.

DE CARLI, G. A. **Parasitologia Clínica**. 2.Ed.São Paulo: Ed. Atheneu, 2007. 906p.

De MAN, J.C. MNP tables, corrected. *Euro. J. Appl. Microbiol.* v.17, p. 301- 305. 1983.

DE SILVA, *et al.* Soil-transmitted helminth infections: updating the global picture. **Trends in parasitology**, v. 19, n. 12, p. 547-551, 2003.

DOLD, C. . HOLLAND, C. V. *Ascaris* and ascariasis. **Microbes and Infection**, v. 13, DoE; Department of the Environment (1989) *Code of Practice for Agricultural Use Sewage Sludge*. (Revised 1996). UK DoE, Her Majesty's Stationary Office, London.

EAMENS, G. J.; ROSS, A.; W, Anna. **Survival of Pathogenic and Indicator Bacteria in Biosolids Applied to Agricultural Land**. Organic Waste Recycling Unit, NSW Agriculture, Sydney Water, 1996.

EC (European Commission), 2004. Report from the Commission on the implementation of Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment, as amended by Commission Directive 98/15/EC of 27 February 1998, COM(2004) 248 final, Brussels, 23.4.2004.n. 7, p. 632-637, 2011.

EC (European Commission), 2001. Disposal and recycling routes for sewage sludge. Part 3—Scientific and Technical Report. **European Commission**, DG Environment, Brussels, Belgium, 2001.

EC (European Commission), 1999. Implementation of Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment, as amended by Commission Directive 98/15/EC of 27 February 1998, COM(98)775 final, Brussels 15.01.1999.

EPA, S. A. South Australian biosolids guidelines for the safe handling, reuse or disposal of biosolids. **South Australian Department of Environment and Natural Resources, Adelaide, SA**, v. 49, 1997.

EPSTEIN, E. *Land application of sewage sludge and biosolids*. Boca Raton, FL: Lewis Publisher, 2003.

ESPERICUETA, A. D. C.; GONZÁLEZ, F. J. V. Desinfección de lodos residuales con alto contenido de *Salmonella* mediante secado solar. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXXI. Santiago, Chile. 2008. **Anais...** Santiago, Chile: Aidis, 2008 (CD ROM).

EVANS, T. D. Biosolids in Europe. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v. 2012, n. 2, p. 108-117, 2012.

EXCELSIOR SENTINEL. Product information and technical support . Ithaca, New York, 2012.

FARRELL, J. J., DOYLE, L. J., ADDISON, R. M., RELLER, L. B., HALL, G. S., & PROCOP, G. W. Broad-Range (Pan) *Salmonella* and *Salmonella* Serotype Typhi-Specific Real-Time PCR Assays Potential Tools for the Clinical Microbiologist. **American journal of clinical pathology**, v. 123, n. 3, p. 339-345, 2005.

FEACHEM, R. G., BRADLEY, D. J., GARELICK, H.; MARA, D. D. **Sanitation and disease - Health aspects of excreta and wastewater management**. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 1983.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. Estabilização de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson V. *et al.* (coord.). **Resíduos sólidos de saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. 1. ed. Curitiba: ABES, 2001.

FERNANDES, F. (coordenador). **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico** - PROSAB, Rio de Janeiro; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 1999. 84 p.

FERNANDES, F.; COELHO, L. O.; NUNES, C. W. & SILVA, S. M. C. P. Aperfeiçoamento da Tecnologia de Compostagem e Controle de Patógenos. **SANARE**, Curitiba, v. 5, n.5, pp. 36 - 45. 1996.

FERNANDES, F., ANDREOLI, C. V. "Principais Fatores Limitantes (Metais Pesados e Patógenos) para o Uso Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná." **Anais 19º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vol. 1, 69-76, Rio de Janeiro-RJ. 1999.

FERNANDES, F., ANDRAUS S., ANDREOLI C. V.. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE Belém com vistas a seu uso agrícola (Disinfection processes efficiency of sludge coming from WWTP Belém aiming its agricultural usage). **SANARE**, Curitiba, v.5, n.5, pp.46-58. 1996.

FERNANDES, F.; LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. In: ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; LARA, I. A. (Org.). **Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, p. 288.

FERNANDES, S. **Estabilização e higienização de biossólidos**. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Editores BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 3, p. 45 - 67.

FERREIRA, A. C. **Monitoramento da Secagem e Desinfecção de Lodo Anaeróbio em Leito de Secagem com Uso de Estufa Plástica e Biogás**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, (2001) 97p.

FERREIRA, A.; ANDREOLI, C.V.; Produção e Características dos biossólidos. In: **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: Prosab, 1999.

FOLEGATTI , M. V.; DUARTE, A. S. ; GONÇALVES, R. A. B. Uso de águas residuárias na agricultura. In: Workshop Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas. **Anais...** Campina Grande, 28 a 30 de novembro de 2005.

FOGOLARI, O.; REIS, C. Z. dos; PHILIPPI, L. S. Determinação de parâmetros cinéticos da inativação térmica de *Escherichia coli* em lodo de esgoto. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, Sept. 2012. Disponível em; <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522012000300001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000300001&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 12 mar 2013.

FRANÇA, M. **Avaliação da biodegradabilidade e da biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbio termohidrolisado pelo uso do biogás**. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Setor de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. Manual de saneamento. Brasília:Ministério da Saúde, 2010.

FURTADO, L. F. V.; MELO, A. C. F. L. Prevalência e aspectos epidemiológicos de enteroparasitoses na população geronte de Parnaíba, Estado do Piauí. **Rev Soc Bras Med Trop.**, Uberaba, v. 44, n. 4, p. 513-515, jul./ ago. 2011.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.12, p. 116-140, 2008.

GALE, P. Using event trees to quantify pathogen levels on root crops from land application of treated sewage sludge. **Journal of Applied Microbiology**, v. 94, pp. 35-47, 2003.

GALVÁN, M., de VICTORICA J. and ROJAS N.. Potential viability of helminth eggs in wastewater assessed by vital staining. In: **Proc. of the IAWQ 19<sup>th</sup> Biennial International Conference**, 10, p. 32-26, Vancouver, Canada, 1998.

GANTZER C, GASPARD P, GALVEZ L, HUYARD A, DUMOUTHIER N, SCHWARTZBROD J. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. **Water Res** 2001; 35(16):3763-70.

GASPARD, P.; SCHWARTZBROD, J. Helminths and protozoa in stabilized sludge for agricultural use: search for an indicator of parasite contamination. In: CONFERENCE IWA, 2001, Acapulco - México. **Proceedings...IWA**, 2001. p. 9-14.

GASPARD, P.G.; WIART, J.; SCHWARTZBROD, J. Experimental study of the helminth eggs adhesion (*Ascaris suum*): analysis of the environmental implications. **Revue des Sciences de l'Eau**, v. 7, p. 367-376, 1994.

GAST, Richard K. Serotype-specific and serotype-independent strategies for preharvest control of food-borne *Salmonella* in poultry. **Avian diseases**, v. 51, n. 4, p. 817-828, 2007.

GERBA, C. P.; SMITH, J. E. Sources of pathogenic microorganisms and their fate during land application of wastes. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 1, p. 42-48, 2005.

GHIGLIETTI, R.; GENCHI, C.; DI MATTEO, L.; CALCATERRA, E.; COLOMBI, A. Survival of *Ascaris suum* eggs in ammonia-treated wastewater sludges. **Bioresource Technology**, v.59, p. 195-198, 1997.

GIBBS R, HU CJ, HO GE, UNKOVICH I, PHILLIPS P. Die-off of human pathogens in stored wastewater sludge and sludge applied to land. UWRAA Research Project nº. [55-51(91/58)]; 1994.

GIBBS, R.; HU, C. J.; HO, G. E.; UNKOVICH, I.; PHILLIPS, P. Pathogen die-off in stored wastewater sludge. **Water Science and Technology**, **31**: 91-95, 1995.

GIBBS, R. A.; HU, C. J.; HO, G. E.; UNKOVICH, I. Regrowth of fecal coliforms and *Salmonellae* in stored biosolids and soil amended with biosolids. **Water Science and Technology**, v. 35, n. 11-12, p. 269-275, 1997.

GODWIN, A. Benefits of biosolids: how water utilities are turning waste into resource. **Water World**, v. 8, n. 7, 2012.

GONÇALVES, R. F., LUDUVICE, M., PEREIRA, M. R., LIMA, D. L. D. C. R., FERREIRA, A. C., TELES, C. R., & ANDREOLI, C. V. (2001). Desidratação de lodo de esgotos. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**, 57.

GONÇALVES, R.F. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. **ABES**, RiMa, 2003. 438 p.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES. F. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, SANEPAR, 2001. p.159-259.

GONÇALVES, C. do P.. **Impacto do lançamento de lodo de tanques/fossas sépticas em estação de tratamento de esgoto com reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB)**. Dissertação. Universidade de São Paulo. (2008).

GRAÇA, C. H. da ; MARTINS, V.M.S. ; TERASSI, P. M. B. ; SILVEIRA, H. ; STIVARI, S. M. S. **Caracterização Climática como Auxílio no Planejamento Agrícola para o Município de Apucarana-PR.** In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011, Guarapari, Espírito Santo. **Anais...** 2011.

GUZMAN, C.; JOFRE, J.; MONTEMAYOR, M.; LUCENA, F. Occurrence and levels of indicators and selected pathogens in different sludges and biosolids. **Journal of Applied Microbiology**, v. 103, n. 6, p. 2420-2429, 2007.



HAAS, C. N.; Desinfection. In: Letterman, R. D. (Ed.). **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies**. 5 ed. New York: American Water Works Association. McGraw-Hill, Inc; 1999. cap. 14, p.14.1 - 14.60.

HALL J. E., SHEHATA A. E. R., SMITH S. R., COLLIER F. W., SMITH R. I., EL-LATEEF E. M. A., SHAFIK O. A., EL-GENDY R. M., EL-HWARY A. (1995) *The Agricultural Use of Sewage Sludge in Warm Climates, With Special reference to Egypt*. European Investment Bank and Cairo Wastewater Organisation. Cairo Sludge Disposal Study, Vol 1.Report No.: CSDR003. WRc Swindon, UK.

HARTMANN, C. *et al.* **Definições, histórico e estimativas de geração de lodo séptico no Brasil**. In: Cleverson Vitorio Andreoli (Projeto PROSAB). (Org.). *Lodo de fossa séptica: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final*. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009, v. 5, p. 24-40.

HARTENSTEIN, Roy. Sludge decomposition and stabilization. **Science**, v. 212, n. 4496, p. 743-749, 1981.

HAYS B.D. Review paper: potential for parasitic disease transmission with land application os sewage plant effluents and sludges. **Water Reserch**. Great Britain, v.1. 1977. p.583 – 595.

HIGGINS, M. J., CHEN, Y. C., MURTHY, S. N., HENDRICKSON, D., FARREL, J., SCHAFER, P.. Reactivation and growth of non-culturable indicator bacteria in anaerobically digested biosolids after centrifuge dewatering. **Water research**, v. 41, n. 3, p. 665-673, 2007.

HUSSONG, D.; BURGE, W. D.; ENKIRI, N. K. Occurrence, growth, and suppression of *Salmonellae* in composted sewage sludge. **Applied and environmental microbiology**, v. 50, n. 4, p. 887-893, 1985.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2007**. Rio de Janeiro. 2009.

IOC - INSTITUTO OSWALDO CRUZ. **NOTA TÉCNICA N.º 1/2011/IOC-FIOCRUZ/DIRETORIA**. Disponível em: [www.fiocruz.br/ioc/media/NotaTecnica\\_1\\_2011\\_IOCatual.pdf](http://www.fiocruz.br/ioc/media/NotaTecnica_1_2011_IOCatual.pdf). Acesso em:<fev/13>

INGUNZA, M.D.P.D.; ANDRADE NETO, C.O; ARAÚJO, A.L.C; SOUZA, M.A.A.; MEDEIROS, S.A.; BORGES, N.B.; HARTAMANN, C.M. Caracterização física, química e microbiológica do lodo de fossa séptica/tanque séptico. In: ANDREOLI, C.V. (org) **PROSAB – Lodo de Fossa Séptica e Tanque Séptico**: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 388p.

INSTITUTE FOR SOLID WASTES OF AMERICAN PUBLICS WORKS ASSOCIATION. **Municipal refuse disposal public administration service**. 3ª ed. Illinois, p. 293-329, 1970.

IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba - **Curitiba em dados.** Curitiba: IPPUC. Disponível em: <[http://ippucweb.ippuc.org.br/curitibaemdados/Curitiba\\_em\\_dados\\_Pesquisa.htm](http://ippucweb.ippuc.org.br/curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.htm)>. mar. 2013.

ISLAM, M., MORGAN, J., DOYLE, M.P., PHATAK, S.C., MILLNER, P., JIANG, X., 2004. Fate of *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* on carrots and radishes grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Appl. Environ. Microbiol.* 70, 2497-2502.

JEPSEN, S-E.; KRAUSE M.; GRUTTNER, H. Reduction of fecal streptococcus and *Salmonella* by selected treatment methods for sludge and organic wastes. **Water Science and Technology**, v.36, n.11, p.203-210. Great Britain: Elsevier Science Ltd, 1997.

JIMÉNEZ-CISNEROS B., MAYA C., GALVÁN M. Helminth ova control in wastewater and sludge for advanced and conventional sanitation. **Water Science and Technology**. 2007;56(5):43-51.

JIMENEZ-CISNEROS, B., BARRIOS J.A., MAYA C. Class B biosolids production from wastewater sludge with high pathogenic content generated in an advanced primary treatment. **Water Science and Technology**;42(9):103-10. 2000.

JIMENEZ-CISNEROS, B. E. Helminth ova removal from wastewater for agriculture and aquaculture reuse. **Water Science and Technology**, 55(1-2): 485-493. (2007a).

JIMENEZ-CISNEROS, B. E. Helminths (worms) eggs control in wastewater and sludge. **International Symposium on New Directions in Urban Water Management**. 12-14 September 2007, UNESCO Paris. (2007b).

JIMENEZ-CISNEROS, B. E. HELMINTH OVA CONTROL IN WASTEWATER AND SLUDGE FOR AGRICULTURAL REUSE, in *Water and Health*, [Ed.W.O.K. Grabow]. In **Encyclopedia of Life Support Systems(EOLSS)**, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, [<http://www.eolss.net>] [Retrieved October 9, 2008] (2007c),

JOHNSON, P. W.; DIXON, R.; ROSS, A. D. An in-vitro test for assessing the viability of *Ascaris* summ eggs exposed to various sewage treatment processes. *Int J Parasitol.*, v. 28, p.627-633, 1998.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4 ed.. Rio de Janeiro: SEGRAC, 932 p. 2005.

KAFER (2015) **Tratamento de lodo anaeróbio em wetlands construídos operados em alta taxa e com a recirculação de líquido percolado**. Dissertação

submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Engenharia Ambiental.

KANESHIRO, E. S., STERN, G. Survival of Parasite Eggs in Stored Sludge. EPA/600/2-85/142,U.S.EPA, **Water Engineering Research Laboratory**, Cincinnati, Ohio.1985.

KAPER, J. B.; NATARO, J. P.; MOBLEY, H. LT. Pathogenic Escherichia coli. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 2, p. 123-140, 2004.

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste management**, v. 32, n. 6, p. 1186-1195, 2012.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem maturação e qualidade do composto**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 171p.

KIM, H.-J.; PARK S.-H.; KIM, H.-Y. Comparison of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium LT9 and non-LT9 *Salmonella* genomic sequences, and genotyping of *Salmonellae* by using PCR. **Applied Environmental Microbiology**, v. 72, n. 9, p. 6142-6151, 2006.

KROISS, H.; ZESSNER-SPITZENBERG, M. **Ecological and economical relevance of sludge treatment and disposal options**. na, 2007.

LANDGRAF, M. Microrganismos indicadores. **Franco BDMG, Landgraf M. Microbiologia de Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996.

KRZYZANOWSKI, F., ZAPPELINI, L., MARTONE-ROCHA, S., DROPA, M., MATTÉ, M. H., NACACHE, F., & RAZZOLINI, M. T. Quantification and characterization of *Salmonella* spp. isolates in sewage sludge with potential usage in agriculture. **BMC microbiology**, v. 14, n. 1, p. 263, 2014.

LANG, N. L.; SMITH, S. R. Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. **Water Research**, v. 42, n. 8-9, p. 2229-2241, apr. 2008.

LASOBRAS, J., DELLUNDE, J., JOFRE, J., LUCENA, F.. Occurrence and levels of phages proposed as surrogate indicators of enteric viruses in different types of sludges. **Journal of Applied Microbiology**, v. 86, n. 4, p. 723-723, 1999.

LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), 2008. Disponível em: [http://esa.un.org/iys/docs/san\\_lib\\_docs/habitat9008.pdf](http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/habitat9008.pdf). Acesso em: 23 de out de 2014.

LEITE, B. Z.; INGUNZA, M. P.; ANDREOLI, C. V. (2006). Lodo de Decanto-Digestores. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Alternativas de usos de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 10, p. 361-398.

LELES, D.; GARDNER, S. L.; REINHARD, K.; IÑIGUEZ, A.; ARAUJO, A. Are *Ascaris lumbricoides* and *Ascaris suum* a single species? **Parasite and Vectors**, v. 5, p. 42, 2012.

LETTINGA, G. A. F. M.; VAN VELSEN, A. F. M.; HOBMA, S. W., DE ZEEUW, W.; KLAPWIJK, A. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. **Biotechnolog and Bioengineering**, v. 22, n.4, p. 699-734, 1980.

LIMA, M. R. P.; ALÉM SOBRINHO, P.; RODRIGUES Q. C., E.; SCHNEIDER V. K.; FRASSON L. L. (2009). Avaliação da qualidade do lodo de esgoto quando submetido à secagem/higienização em estufa agrícola. Revista **AIDIS**, 2(1), 41-48.

LIMA, M. R. P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto**: 2010, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2010.

LOPES, C. R., SALAMAIA, F. H., & MOLINARI-CAPEL, L. M. Diferentes parasitos intestinais em crianças de um a dez anos atendidas em um laboratório de análises clínicas na cidade de Marialva, Paraná, Brasil. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 5, n. 2, p. 290-297, maio/ago. 2012

LOZER, J. G. Desaguamento e higienização de lodo de esgoto utilizando estufa agrícola sobre leitos de secagem. 108 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2012.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001, cap. 4 p. 123-157.

LU, Q.; HE, Z. L.; STOFFELLA, P. J. Land application of biosolids in the USA: A review. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2012.

LUE-HING, C.; ZENZ, D. R.; KUCHENRITHER, R. Municipal sewage sludge management: processing, utilization and disposal. **Water Qual. Manage.**, Philadelphia, v. 4. p. 663, 1992.

LUPATINI, G.; ANDREOLI, C.V.; CASTRO, R.A.; BORGES, N.B.; CAMPOS, J.R.; BARBOSA, A.J.S.; ARAÚJO, A.L.C; ANDRADE NETO, C.O; YAMADA, F.; COLTRO, D.Z. Tratamento de lodo de fossa séptica/tanque séptico. In: ANDREOLI, C.V. (org) **PROSAB – Lodo de Fossa Séptica e Tanque Séptico**: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 388p.

MACHADO, M. F. da S.; FIGUEIREDO, R. F. de; CORAUCCI FILHO, B.. Produção brasileira de lodos de esgotos. **Sanare-Revista técnica de Sanepar**, v. 22, n. 22, p. 66-74, 2004.

MÄDER NETTO, O. S.; ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. Estudos das variações de pH no lodo cauleado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade. In: **AIDIS; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento Ambiental: Ética e Responsabilidade Social**. Joinville: ABES, set, p.1-14, 2003.

MASSARA, C. L.; FERREIRA, R. S.; DE ANDRADE, L. D.; GUERRA, H. L.; DOS SANTOS CARVALHO, O. Atividade de detergentes e desinfetantes sobre a evolução dos ovos de *Ascaris lumbricoides*. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 335-340, 2003.

MAYA, C., TORNER-MORALES, F. J., LUCARIO, E. S., HERNÁNDEZ, E., & JIMÉNEZ, B.. Viability of six species of larval and non-larval helminth eggs for different conditions of temperature, pH and dryness. **Water Research**, 2012.

MAYA C., ORTIZ M., JIMÉNEZ B. Viability of *Ascaris* and other helminth genera non larval eggs in different conditions of temperature, lime (pH) and humidity. **Water Science and Technology**. 2010;62(11): 2616- 24.

MAYA C, JIMENEZ B, SCHWARTZBROD J. Comparison of techniques for the detection of helminth ova in drinking water and wastewater. **Water Environ Res**. 78: 118-124, 2006.

MAURER, Cristiane. **Recuperação e avaliação de viabilidade de ovos de *Ascaris lumbricoides* em lodo de esgoto pelo método de Yanko modificado**. Trabalho apresentado como pré-requisito para obtenção do título de especialista em Microbiologia Clínica. Novo Hamburgo. 2011.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. (Coord). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 5, p. 109-141.

MELO, W. J.; TSUTIYA, M. T.; MARQUES, M. O. Nível de fertilidade em solos tratados com biossólido oriundo da estação de tratamento de esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo, e cultivados com milho. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII. Porto Alegre-RS, 2000. **Anais...** Port Alegre: AIDIS, ABES, 2000 (CD ROM).

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**, Tchobanoglous, G. e Burton F.L. (eds.), 3 ed., Editora McGraw-Hill, Nova Iorque, Estados Unidos, 1336p., 1991.

MEYER, K. B.; MILLER, K. D.; KANESHIRO, E. S. *Recovery of Ascaris eggs from sludge* - **Journal of Parasitology**. 64 (2), p. 380-383. 1978.

MIKI, M. K.; ALEM SOBRINHO, P.; VAN HAANDEL, A. C. Tratamento da Fase Sólida em Estações de Tratamento de Esgotos – Condicionamento, Desaguamento Mecanizado e Secagem Térmica do Lodo. In: ANDREOLI, C. V (coord.). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

MILIEU; WRc; RPA. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Final Report. Part I: Overview Report. Milieu Ltd, WRc and Policy Analysts Ltd (RPA) for the European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r. Brussels, 2010.16 p. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part\\_i\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf)>. Acesso em: 26/03/2015.

MONDAL, T., ROUCH, D. A., THURBON, N., SMITH, S. R., & DEIGHTON, M. A. . Factors affecting decay of *Salmonella* birkenhead and coliphage MS2 during mesophilic anaerobic digestion and air drying of sewage sludge. 2014.

MOTTA, A.C.V.; LIMA, M.R. Princípios de calagem. In: LIMA, M.R. (ed.). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba, UFPR, 2006. p. 191-232.

MOXLEY, R. A.; SMITH, D. R. Attaching-effacing *Escherichia coli* infections in cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 26, n. 1, p. 29-56, 2010.

NAM, H.-M., SRINIVASAN, V., GILLESPIE, B.E., MURINDA, S.E., OLIVER, S.P., 2005. Application of SYBR green real-time PCR assay for specific detection of *Salmonella* spp. in dairy farm environmental samples. *Int. J. Food Microbiol.* 102, 161-171.

NATARO, James P.; KAPER, James B. Diarrheagenic *Escherichia coli*. **Clinical microbiology reviews**, v. 11, n. 1, p. 142-201, 1998.

NATARO, J.P.; STEINER, T.; GUERRANT, R.L. Enteroaggregative *Escherichia coli*. **Emerg. Infet. Dis.**, v.4, p.251-261, 1998.

NAVARRO, I; JIMÉNEZ, B; CIFUENTES, E; LUCARIO, S. A. Quantitative microbial risk assessment of helminth ova in reusing sludge for agricultural production in developing countries. **Risk Analysis**. v.6, n. 65, 2008.

NELSON K.L., JIMÉNEZ-CISNEROS B, TCHOBANOGLOUS G, DARBY J.L. Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico. **Water Research**. 2004;38:111-117.

NEVES, D. P. **Parasitologia humana**. 11.Ed.São Paulo: Editora Atheneu, 2005. 494p.

O'DONNELL, C.J., MEYER, K.B., JONES, J.V., BENTON, T., KANESHIRO, E.S., NICHOLS, J.S., SCHAEFER III, F.W. (1984) Survival of parasite eggs upon storage in sludge. **Applied and Environmental Microbiology** 48, 618-625.

OLIVEIRA FM, Costa STC, Bezerra FSM. Incidência de enteroparasitoses na zona rural do Município de Parnaíba, Piauí. **Rev Bras Anal Clín** 33: 45-48, 2001.

OLIVEIRA, N. Avaliação do pós-tratamento do lodo de esgoto, proveniente de digestor anaeróbio, com casca e semente de manga. Dissertação. (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Feira de Santana, 2013.

O'LORCAIN, P.; HOLLAND, C. V. The public health importance of *Ascaris lumbricoides*. **Parasitology**, v. 121, n. S1, p. S51-S71, 2000.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Saúde nas Américas: 2007**. Washington, D.C.: OPAS,© 2007—2v. Publicação Científica e Técnica N.º 622.

O'RYAN, M.; PRADO, V.; PICKERING, L. K. A millennium update on pediatric diarrheal illness in the developing world. In: **Seminars in pediatric infectious diseases**. WB Saunders, 2005. p. 125-136.

OWEN R.R. The effectiveness of chemical disinfection on parasites in sludge. **Stabilisation and Disinfection of Sewage Sludge** 23:1-13, 1984.

PALMER, L. J., CELEDÓN, J. C., WEISS, S. T., WANG, B., FANG, Z., XU, X. *Ascaris lumbricoides* infection is associated with increased risk of childhood asthma and atopy in rural China. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 165, n. 11, p. 1489-1493, 2002.

PAN, W. L.; STEVENS, R. G.; LABNO, K. A. Cadmium accumulation in wheat and potato from phosphate and waste-derived zinc fertilizers. **ENVIRONMENTAL IMPACT OF FERTILIZER ON SOIL AND WATER**, v. 872, p. 112-123, 2004.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA 021/09. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências para empreendimentos de saneamento. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, n. 7962, p. 13-16, 2009.

PARMAR, N.; SINGH, A.; WARD, P.. Characterization of the combined effect of enzymes, pH and temperature for removal of pathogens from sewage sludge. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. Vol. 17, 169-172 p. 2001.

PASSAMANI, F. R. F.; GONÇALVES, R. F. Higienização de lodos de esgotos. In: GONÇALVES, R. F. (coord.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 1999.

PAULA JUNIOR, D. R.; MORAES, L. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; PONTES, P. P.; CASSINI, S. T.; GONÇALVES, R. F.; BELLI FILHO, P.; SOARES, A. M. Estabilização Anaeróbia de Lodos. In: CASSINI, S. T. (Coord.). **Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 3, p. 64-93. 2003.

PAULINO, R. C; CASTRO, E. A; THOMAZ-SOCCOL, V. Tratamento anaeróbio de esgoto e sua eficiência na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical Rev. Soc. Bras. Med. Trop.**vol.34. n° 5. Uberaba. SP. 2001.

PATRICK, M.E.; ADCOCK, P.M; GOMES, T.M.; ALTEKRUSE, S.F.; HOLLAND, R.V.; TAUXE, R.V.; SWERDLOW, D.L. *Salmonella enteritidis* infections, United States 1985-1999. **Emerg. Infection Disease**, v. 10, p. 1-7, 2004.

PAULSRUD, B.; NYBRUKET, S. Implementation of a HACCP based approach for complying with the Norwegian biosolids standards for pathogen control. In: **IWA Specialist Conference Moving Forward Wastewater Biosolids Sustainability: Technical, Managerial and Public Synergy, Moncton, Canada**. 2007. p. 24-27.

PAWLOWSKI, Z. S.; SCHULTZBERG, K. Ascariasis and sewage in Europe. **Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge: knowledge and needs/edited by JC Block, AH Havelaar, and P. L'Hermite**, 1986

PAYMENT P, PLANTE R, CEJKA P. Removal of indicator bacteria, human enteric viruses, Giardia cysts, and Cryptosporidium oocysts at a large wastewater primary treatment facility. **Can J Microbiol** 2001;47:188-93.

PECSON, B.M.; BARRIOS, J.A.; JIMÉNEZ, B.E.; NELSON, K.L. The effects of temperature, pH, and ammonia concentration on the inactivation of *Ascaris* eggs in sewage sludge. **Water Research**, v. 41, n. 13, p. 2893-2902., 2007.

PEDERSON, D. Density levels of pathogenic microorganisms in municipal waste water sludge: indicator organism in Sonoran Desert soil amended with sewage sludge. *J Environ Sci. Health Part A* **Environ Sci Eng**. v. 28, p.1287-1302, 1981.

PEGORINI, E.S.; ANDREOLI, C.V.; SOUZA, M.L.P.; FERNANDES, F.; DOETZER, B.; FERREIRA, A. C. Produção e disposição final de lodo de esgoto na reciclagem agrícola da Região Metropolitana de Curitiba – PR. In: SIMPÓSIO SOBRE BÍOSSÓLIDOS NO ÂMBITO DO MERCOSUL, 3, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003.

PEGORINI, E. S.; HARTMANN, C. M.; ANDREOLI, C. V. Avaliação do processo de higienização do lodo de esgoto em estufas plásticas instaladas em ETEs da Sanepar. 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. CD ROM. Belo Horizonte, 2007.



PEIXOTO, J. I. G. *et al.* Secagem e higienização natural do biossólido gerado na estação de tratamento de esgotos de Brasília Sul (ETE Sul). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande, MS. **Anais Eletrônicos**. Abes/MS, 2005, CD-ROM.

PENG, W. X. *et al.* Identifying high-risk areas of schistosomiasis and associated risk factors in the Poyang Lake region, China. **Parasitology**, v. 137, n. 07, p. 1099-1107, 2010.

PIMENTA, M; KATO, M. T; GAVAZZA, S; FLORENCIO, L. Desempenho de Reatores Piloto Tipo UASB e Híbrido para o Tratamento de Esgoto Doméstico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23.,2005.Campo Grande. **Anais...**Campo Grande: ABES, 2005.

PFLUG, I.J.; HOLCOMB, R.G.; GÓMEZ, M.M. (2001) Principles of the thermal destruction of microorganisms. In: Block, S.S. **Disinfection, sterilization and preservation**. 5th ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins. p.79-129.

PIETRONAVE, S.; FRACCHIA, L.; RINALDI, M.; MARTINOTTI, M. G. Influence of biotic and abiotic factors on human pathogens in a finished compost. **Water Research**, v. 38, p. 1963-1970, 2004.

PIKE, E. B. Long-Term storage of sewage sludge. In: \_\_\_\_\_, **Disinfection of sewage sludge: technical, economic and microbiological aspects**. BUCE, A.M.; HAVELAAR, A.H.; L'HERMITE, P.L. eds. Holanda: D. Reidel Publishing Company. 1983. p.212-222.

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

PIKE, E. B.; CARRINGTON, E. G. Stabilization of sludge by conventional and novel processes—a healthy future. In: **Proceedings of symposium: the agricultural use of sewage sludge—is there a future**. 1986. p. 1- 43.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, CV; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2001.

PITERINA, A. V.; BARTLETT, J; PEMBROKE, T. J. Evaluation of the removal of indicator bacteria from domestic sludge processed by autothermal thermophilic aerobic digestion (ATAD). **International journal of environmental research and public health**, v. 7, n. 9, p. 3422-3441, 2010.

PITTNER, E. *et al.* Enteroparasitoses em crianças de uma comunidade escolar na cidade de Guarapuava, PR. **Revista Salus**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 97- 100, jan./jun. 2007.

POPOFF, M.Y., LE MINOR, L. Antigenic formulas of the *Salmonella* serovars, 7th revision. World Health Organization Collaborating Centre for Reference and Research on *Salmonella*, Pasteur Institute, France. 1997.

POSSETTI, G. R. C.; JASINSKI, V. P.; ANDREOLI, C. V.; BITTENCOURT, S.; CARNEIRO, C. Sistema térmico de higienização de lodo de esgoto movido a biogás para ETEs de médio e pequeno porte. In: XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (XV SILUBESA), 2012, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: ABES, 2012. CD-Rom.

POURCHER, A.M.; MORAND, P., PICARD-BONNAUD, F., BILLAUDEL, S., MONPOEHO, S., FEDERIGHI, M.& MOGUEDET, G.. Decrease of enteric microorganisms from rural sewage sludge during their composting in straw mixture. **Journal of Applied Microbiology**, v. 99, n. 3, p. 528-539, 2005.

PRITCHARD, D.L. AND PENNEY, N. AND MCLAUGHLIN, M.J. AND RIGBY, H. AND SCHWARZ, K. 2010. Land application of sewage sludge (biosolids) in Australia: risks to the environment and food crops. *Water Science and Technology - WST*. 62 (1): pp. 48-57.

QUILÈS, F.; BALANDIER, J. Y.; CAPIZZI-BANAS, S. (2006). In situ characterisation of a microorganism surface by Raman microspectroscopy: the shell of *Ascaris* eggs. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 386, n. 2, p. 249-255, 2006.

RAMALDES, D. L. D. C., LIMA, M. R. P., GONÇALVES, R. F. . Desidratação de lodo de reatores UASB através de leito de secagem na região costeira do Espírito Santo. In: **Saneamento ambiental: desafio para o século 21**. ABES, 2001. p. 1-10.

RATIS, A. N. F. A. **Caracterização dos resíduos esgotados de sistemas de tratamento individual de esgotos domésticos de Natal**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

REY, L. **Bases da Parasitologia Médica**. 3.Ed.Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.2010.391p.

ROCHA, A. L. C. *et al.* Higienização de lodo anaeróbico de esgoto sanitário por meio alcalino. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25., 2009, Recife. **Anais...** Recife: ABES, 2009. CD-ROM.

ROCHA, M. C. **Desenvolvimento de método biomolecular para a determinação de ovos viáveis de *Ascaris* em lodo de esgoto doméstico**. 173 fls. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Universidade Federal do Paraná, 2015

ROSS, B. Z. L., BARCELOS, D.S., MARQUES, C. J., CARNEIRO, C. , AISSE, M. M. Desaguamento de espuma produzida em reatores anaeróbios de manta de lodo em leitos de secagem no estado do Paraná. **Anais**. Congresso 28 da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 2015. 11 p.

ROUCH, D. *et al.* Microbial safety of air-dried and rewetted biosolids. **Journal of water and health**, v. 9, n. 2, p. 403-414, 2011.

RUBIO-LOZA, L. A.; NOYOLA, A. Two-phase (acidogenic–methanogenic) anaerobic thermophilic/mesophilic digestion system for producing Class A biosolids from municipal sludge. **Bioresource technology**, v. 101, n. 2, p. 576-585, 2010.

SAHLSTROM, L.; ASPA, A.; BAGGE, E.; THAM, M. L. D.; ALBIHN, A.. Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. **Water Research**. Vol. 38, 1989-1994 p. 2004.

SALEEM, M.; AL-MALACK, M. H.; BUKHARI, A. A. Seasonal variations in the microbial population density present in biological sludge. **Environmental technology**, v. 22, n. 3, p. 255-259, 2001.

SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido . em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, São Paulo, n. 193, p. 16-27, 2013.

SAMPAIO, A. de O. E GONÇALVES, M. C.. "Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados: estudo de caso ETE-Barueri." **Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio**. ABES, 1999. 1-10.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Manual de Projetos de Saneamento**. Módulo 11.2. ROSS, B.Z.L. *et al.* (coord.), 11p., 2011.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. **Utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 96p., 1997.

SANTOS, D. de S. Caracterização do lodo obtido em manta e leito do reator anaeróbico de fluxo ascendente e submetido ao leito de secagem. 2012. 73f. xiii Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana/Bahia. 2012.

SANTOS, Y. T. da C. . Caracterização do conteúdo de fossas e tanques sépticos na cidade de Natal. 2010. 73f. xiii Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2010.

SATURNINO A. C. R. D, MARINHO E. J. C., NUNES J. F.L., SILVA E. M. A.. Enteroparasitoses em escolares de 1º grau da rede pública da cidade de Natal, RN. **Rev Bras Anal Clín** 37: 83-85, 2005.

SCHWARTZBROD, J. *et al.* Wastewater sludge: parasitological and virological contamination. **Water Science and Technology**, v.19, n.8, p.33-40, Great Britain: IAWPRC, 1987.

SEGANTIN, A.; DELARIVA, R. L. Levantamento de parasitoses intestinais na cidade de Cianorte – PR no período de outubro de 2002 a março de 2003 em pacientes da Rede Pública de Saúde. **Arq. Ciênc. Saúde Unipar**, Umuarama, v. 9, n. 1, p. 17-21, jan./abr. 2005.

SEGHEZZO, L., ZEEMAN, G., VAN LIER, J. B., HAMELERS, H. V. M., & LETTINGA, G. A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. **Bioresource Technology**, v. 65, n. 3, p. 175-190, 1998.

SEGINER, I.; BUX, M.. Modeling solar drying rate of wastewater sludge. **Drying Technology**. Vol. 24, 1353-1363 p. 2006.

SEIXAS MTL, SOUZA JNS, SOUZA RP, TEIXEIRA MCA, SOARES NM. Avaliação da frequência de parasitos intestinais e do estado nutricional em escolares de uma área periurbana de Salvador, Bahia, Brasil. **Rev Patol Trop**. 2011;40(4):304-14.

SERENOTTI, F. **Avaliação da secagem para redução de volume e inativação de microrganismos em lodo de ETE**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas, 2009.

SERRAT, B. M.; POGGERE, G. C.; MOTTA, A. C. V.; BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; BORBA, M. D. Recomendação de lodos de esgoto alcalinizados como corretivo da acidez de solos de diferentes regiões do Estado do Paraná. **Orientação Técnica**. Sanepar. Curitiba, 2012.

SERRAT, B. M.; BITTENCOURT S.; ANDREOLI, C. V.; SILVA L.A.T.P.; SANTIAGO T. R. Disposição de resíduos na agricultura: lodo de esgoto como fonte de nutrientes. In: **Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos, 2009**, Vitória. **Anais do Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos**. Vitória : Incaper e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

SHANAHAN, E. F., ROIKO, A., TINDALE, N. W., THOMAS, M. P., WALPOLE, R., & KURTBÖKE, D. I. Evaluation of pathogen removal in a solar sludge drying facility using microbial indicators. **International journal of environmental research and public health**, v. 7, n. 2, p. 565-582, 2010.

SIDHU, J.; GIBBS, G. A.; HO, G. E.; UNKOVICH, I. The role of indigenous microorganisms in suppression of *Salmonella* regrowth in composted biosolids. **Water Research**, v. 35, n. 4, 2001. p. 913-920.

SIDHU, J., GIBBS, R.A. HO, G.E. *Public health implications of Salmonella regrowth in composted biosolids*. In: ORBIT 2003 Organic Recovery and Biological Treatment

Proceedings of the Fourth International Conference of ORBIT Association on Biological Processing of Organics: Advances for a Sustainable Society, 30 April - 2 May 2003, Perth, Western Australia.

SIDHU, J.; TOZE, S. G. Human pathogens and their indicators in biosolids: A literature review. **Environment International**, v. 35, n. 1, p. 187-201, 2009.

SHAMMAS, NAZIH K.; WANG, LAWRENCE K. Beneficial Utilization of Biosolids. In: **Biosolids Engineering and Management**. Humana Press, 2008. p. 647-690.

SHUVAL HI, ADIN A, FATTAL B, RAWITZ E, YEKUTIEL P. Wastewater irrigation in developing countries, health effects and technical solutions. **World Bank Technical paper nº. 51**. Washington, D.C: The World Bank; 1986.

SIDDIQUEE, M. N.; ROHANI, S.. Lipid extraction and biodiesel production from municipal sewage sludges: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 1067-1072, 2011.

SILVA C.G., SANTOS H.A. Ocorrência de parasitoses intestinais da área de abrangência do Centro de Saúde Cicero Idelfonso da Regional Oeste da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. 2001; 1(1):519-22.

SILVA E.C *et al.* Parasitismo por *Ascaris lumbricoides* e seus aspectos epidemiológicos em crianças do Estado do Maranhão. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical** 44(1):100-102, jan-fev, 2011.

SILVA, N. R., CHAN, M. S., BUNDY, D. A. P. Morbidity and mortality due to ascariasis: re-estimation and sensitivity analysis of global numbers at risk. **Tropical Medicine and International Health**, 2: 519-528, 1997.

SILVA, H. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater in agriculture and aquaculture. In: LEBLANC, R. LAUGHTON, P. RAJESH, T. **Wastewater Biosolids Sustainability – technical, managerial and public synergi**. New Brunswick – Canadá. June 24-27, 2007.

SIQUEIRA, E. R. Tratamento dos resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído [manuscrito] / Elisa Rodrigues Siqueira. 2014.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2013**. Brasília: Ministério das Cidades, fev. 2015.

SIITONEN, Anja. Escherichia coli in fecal flora of healthy adults: serotypes, P and type 1C fimbriae, non-P mannose-resistant adhesins, and hemolytic activity. **Journal of Infectious Diseases**, v. 166, n. 5, p. 1058-1065, 1992.

SMITH, S. R. The implications for human health and environment of recycling biosolids onto agricultural land. **Centre for Environmental Control and Waste Management Imperial College London, London**, p. 76-7, 2008.

SOARES, S. R. A; DE MATOS, Z. M. R.; BERNARDES, R. S. Modelagem do processo de desidratação de lodo anaeróbico em leitos de secagem simulados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 313-319, 2001.

SOARES, M. R. **Coeficiente de distribuição (kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. 2004. 202p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Paulo: 2004.

SORBER, C. A.; MOORE, B. E. **Survival and transport of pathogens in sludge amended soils: A critical literature review. Project Summary**. Usepa report 600/S2-87/028. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1987.

SOUZA, CARLA *et al.* Sobrevivência de ovos de helmintos na reciclagem agrícola do Distrito Federal. **IX Simpósio Natural Cerrado**, 2008.

SOUZA, W. G. **Pós-secagem natural de lodos de estações de tratamento de água e esgoto sanitários**. Dissertação. (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012. 132f.

SPINOSA, L. Status and perspectives of sludge management. (2007). In: **Conference Proceedings – Moving Forward – Wastewater Biosolids Sustainability – Technical, Managerial and Public Synergy - 4<sup>a</sup> Canadian Organic Residuals and Biosolids Conference**. Moncton, New Brunswic, Canadá. June 24-27, 2007.

SPINOSA, L.; AYOL, A.; BAUDEZ, J.-C.; CANZIANI, R.; JENICEK, P.; LEONARD, A.; RULKENS, W.; XU, G.; VAN DIJK, L. Sustainable and Innovative Solutions for Sewage Sludge Management. *Water* **2011**, 3, 702-717.

STEFANAKIS, A; AKRATOS, C S.; TSIHRINTZIS, V A. **Vertical flow constructed wetlands: eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment**. Newnes, 2014

STEFANUTTI, R; ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, P. F. N.; SANTOS, A. C. P. A.; CASTRO, E. ; SILVA JUNIOR, E. D; SIQUEIRA, E. R.; VASCONCELOS, G.V.; NASCIMENTO, B. L. M.; CORREA, J. P.; POMPEO, R. P.; ALMEIDA, R. A.; SOCCOL, V. . Tratamento isolado de lodos de fossas e tanques sépticos. In: Eraldo Henriques de Carvalho, Cleverson V. Andreoli. (Org.). **Lodos de Fossa e Tanque Séptico: orientações para definição de alternativas de gestão e gerenciamento**. 1<sup>a</sup> ed. Curitiba/PR: ABES, 2015, v. 1, p. 161-247.

SZABOVÁ, E.; JURISĚ, P.; PAPAJOVÁ, I.. Sanitation composting process in different seasons. *Ascaris suum* as model. **Waste management**, v. 30, n. 3, p. 426-432, 2010.

TAMANINI, C. R., MOTTA, A. C. V., ANDREOLI, C. V., & DOETZER, B. H..Land reclamation recovery with the sewage sludge use. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 643-655, 2008.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 4rd ed. Metcalf & Eddy, Inc. New York: McGraw Hill, 2002. 1848p.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E. A. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. Sanepar, Curitiba, 2 ed., 2000. p. 27 - 41.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI C. V.; FERNANDES F.; LARA I. A. (Org.). **Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, cap. 3, p.156-174.

THOMAZ-SOCCOL, V. Aspectos Sanitários do Lodo de Esgoto, I Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul. **Anais...** Curitiba, PR, 1998.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E. A, TRACZ, J. Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Sanare**, Curitiba, v.8, n.8, p. 24 - 32, 1997.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2005. 894p.

TRATA BRASIL. Encontro Conasa 2012. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/apresentacoes/conasa-apresentacao.pdf> Acesso em: set de 2013.

TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A.; ITAVAARA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, Essex, 2000. v. 72, p.169-183.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Part 503—standards for the use or disposal of sewage sludge. **Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR) - Title 40: Protection of Environment**, 2007. Disponível em: <[http://yosemite.epa.gov/r10/water.nsf/npdes+permits/sewage+s825/\\$file/503032007.pdf](http://yosemite.epa.gov/r10/water.nsf/npdes+permits/sewage+s825/$file/503032007.pdf) >. Acesso em: abr 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. USEPA, 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/region8/water/biosolids/pdf/625R92013ALL.pdf> >. Acesso em: mar 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). "Water: sewage sludge (biosolids)," 2011, <http://water.epa.gov/polwaste/wastewater/treatment/biosolids/index.cfm>. >. Acesso em: mar 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage). Under 40 CFR Part 503. Appendix F: Sample Preparation for fecal coliform test and *Salmonella* sp Analysis, p. 137, EPA/625/R-92/013, 2003. [www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs](http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. Under 40 CFR Part 503. S.1: EPA, 1992 (EPA 625/R - 92/013).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108**, Washington, DC, september, 2004.

VAN HAANDEL A. C. E LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos – um manual para regiões de clima quente**. Ed. Epgraf. Campina Grande, Pb, p. 231, 1994.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G.. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação. In: **O comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operação**. epgraf, 1999.

VAN HAM, M. D.; HUTCHISON, J. S.; DAMPIER, L. M. B., VIEIRA. A regional approach to biosolids management: The Sechelt experience. In: **Conference Proceedings – Moving Forward – Wastewater Biosolids Sustainability – Technical, Managerial and Public Synergy, - 4ª Canadian Organic Residual and Biosolids Conference**. New Brunswic, June 24-27, 2007.

VANZO, J. E.; MACEDO, L. S.; TSUTIYA, M. T. ETE Franca: uma estação que além de tratar os esgotos, produz insumos agrícolas. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII. Porto Alegre-RS, 2000. **Anais...** Porto Alegre: AIDIS, ABES, 2000 (CD ROM).

VASCONCELOS, I. A. B., OLIVEIRA, J. W., CABRAL, F. R. F., COUTINHO, H. D. M., E MENEZES, I. R. A.. Prevalência de parasitoses intestinais entre crianças de 4-12 anos no Crato, Estado do Ceará: um problema recorrente de saúde pública. **Acta Scientiarum. Health Sciences**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 35-41, 2011.

VEERANNAN, K. M. EXPERIMENTAL-EVIDENCE ON VIABILITY OF *ASCARIS-LUMBRICOIDES* OVA. **Current Science**, v. 46, n. 11, p. 386-387, 1977.



VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1, p.252. 2005.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES. F. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, SANEPAR, 2001. p.17-67.

WARD, R. L.; YEAGER, J. G.; ASHLEY, C. S. Response of bacteria in wastewater sludge to moisture loss by ration and effect of moisture content on bacterial inactivation by ionizing radiation. **Applied and environmental microbiology**, v. 41, n. 5, p. 1123-1127, 1981.

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

WHARTON, D.A. The production and functional morphology of helminth eggs shells. **Parasitology**, v. 86, p. 85-97, 1983.

WHARTON, D. A. Nematode egg-shells. **Parasitology**, v.81, Cambridge, p. 447-463, 1980.

WHARTON, D. A. *Ascaris* sp.: Water loss during desiccation of embryonating eggs. **Experimental Parasitology**, New York, v. 48, p. 398-406, dec.1979.

WHO- World Health Organization - 2012  
[http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/ES\\_WHS2012\\_Full.pdf](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/ES_WHS2012_Full.pdf)  
 Acesso em: jan de 2013.

WHO - World Health Organization - World Health Statistics, 2012. Disponível em: <  
<http://www.who.int/gho/publications/worldhealthstatistics/ENWHS2012Brochure.pdf>>.  
 Acesso em: set de 2012.

WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. vol. 1: Policy and regulatory aspects. 2006. Disponível em:  
[http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824_eng.pdf). Acesso em: 28 de maio de 2012.

WILLIFORD, Clint; CHEN, Wei-Yin; SHAMMAS, Nazih K. and Lawrence K. Wang. **Biosolids treatment processes**, v. 6, p. 207, 2007.

WINFIELD, M.D.; GROISMAN, E.A. Role of Nonhost Environments in the Lifestyles of *Salmonella* and *Escherichia coli*. **Applied and Environmental Microbiology**, v.69, n.07, pp. 3687-3694, july, 2003.

YAN, F.; SCHUBERT, S. & MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biol. Biochem.**, 28:617-624, 1996.

YANKO W. A., **Analytical Method for Viable Helminth Ova**. Laboratory Section Procedures for the Characterization of Water and Wastes. 4th edition. Sanitation Districts of Los Angeles. pg 393-1 to 393-6; Los Angeles. California; 1989.

YANKO W. A., **Analytical Method for Viable Helminth Ova** – Appendix I. EPA. Environmental Regulations and Technology – **Control Of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, under 40 CFR part 503**. Ohio, 152 p, 1992.

YEAGER, J. GARY; WARD, R. L. Effects of moisture content on long-term survival and regrowth of bacteria in wastewater sludge. **Applied and environmental microbiology**, v. 41, n. 5, p. 1117-1122, 1981.

YEAGER, J. Gary; O'BRIEN, R. T. Irradiation as a means to minimize public health risks from sludge-borne pathogens. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, p. 977-983, 1983.

ZALESKI, K. J., JOSEPHSON, K. L., GERBA, C. P., & PEPPER, I. L. Potential regrowth and recolonization of *Salmonellae* and indicators in biosolids and biosolid-amended soil. **Applied and environmental microbiology**, v. 71, n. 7, p. 3701-3708, 2005.

ZHANG, X. Study on composting of sewage sludge with matured compost. In: 5<sup>th</sup> International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Wuhan, China. **Proceedings...** p. 1-4, 2011.

### APÊNDICE – CARTAS CLIMATOLÓGICAS

