



Vanderlei Pim

**Caracterização de lodo de esgotos de lagoa anaeróbia
acondicionado em *bags* visando a sua disposição:
estudo de caso – ETE Pedregulho/SP**

**Campinas
2012**

ERRATAS

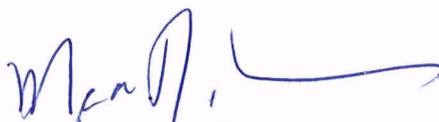
Eu, Vandelei Pim, ex-aluno do curso de Mestrado em Engenharia Civil, informo que deverá ser considerada a seguinte errata na página de rosto:

Onde se lê: "Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil."

Leia-se:

"Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Saneamento e Ambiente"

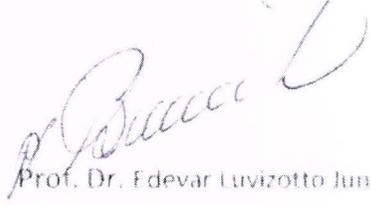
Sem mais.



Profa. Dra. Maria Cecília A. T. da Silva
Coordenadora de Pós-graduação
FEC / UNICAMP - Matrícula 069477



Vandelei Pim



Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior

Orientador



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

Vanderlei Pim

**Caracterização de lodo de esgotos de lagoa anaeróbia
acondicionado em *bags* visando a sua disposição:
estudo de caso – ETE Pedregulho/SP**

Orientador: Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior

Coorientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno Vanderlei Pim e orientado pelo professor Edevar Luvizotto Junior.

Assinatura do Orientador

**Campinas
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

P648c Pim, Vanderlei
Caracterização de lodo de esgotos de lagoa anaeróbia
acondicionado em bags visando a sua disposição: estudo
de caso – ETE Pedregulho/SP / Vanderlei Pim. --
Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Edevar Luvizotto Junior

Coorientador: Bruno Coraucci Filho.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Esgotos. 2. Lodo. 3. Tratamento anaeróbio. 4.
Agricultura. 5. Adubos e fertilizantes. I. Luvizotto
Junior, Edevar, 1961-. II. Coraucci Filho, Bruno, 1948-.
III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: Characterization of sewage sludge anaerobic pond packed in
bags aimed at its disposal: case study – ETE Pedregulho/SP

Palavras-chave em Inglês: Sewage, Sludge, Anaerobic treatment, Agriculture,
Manures and fertilizers

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Francisco Anaruma Filho, Sérgio Túlio Alves Cassini

Data da defesa: 24-08-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**Caracterização de lodo de esgotos de lagoa anaeróbia
acondicionado em *bags* visando a sua disposição:
estudo de caso – ETE Pedregulho/SP**

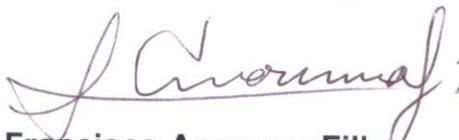
Vanderlei Pim

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

Presidente e coorientador – Universidade Estadual de Campinas - FEC



Prof. Dr. Francisco Anaruma Filho

Universidade Estadual de Campinas - FEC



Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Campinas, 24 de agosto de 2012

Resumo

PIM, Vanderlei. **Caracterização de lodo de esgotos de lagoa anaeróbia acondicionado em *bags* visando a sua disposição: estudo de caso – ETE Pedregulho**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2012. 256p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2012.

As preocupações com o adequado destino dos lodos de esgotos fizeram da reciclagem uma alternativa de grande perspectiva de evolução no Brasil. O presente estudo visa avaliar o lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho/SP, operada pela Sabesp, bombeado e acondicionado em *bags*, em relação a sua qualidade, visando disposição. Foram utilizados 3 *bags* diferentes e realizadas análises antes, durante e depois do bombeamento, percebendo que, durante o tempo, as permeabilidades dos *bags* não são constantes e que, houve alterações nas características do lodo quando nos *bags*. Foram removidos 614 m³ de lodo da lagoa anaeróbia, havendo melhora na eficiência da ETE. A retração volumétrica do lodo nos *bags* permitiu constatar a interferência das chuvas no volume dos *bags*. Houve também uma avaliação do líquido que percolava dos *bags*. O lodo foi caracterizado como resíduo Classe II A (não perigoso, não Inerte) pela ABNT NBR 10.004:2002 e considerado possível de ser disposto em aterro sanitário; a técnica da respirometria associado à caracterização pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA torna o lodo da lagoa anaeróbia passível de aplicação agrícola e, o atendimento às exigências do Ministério da Agricultura permite buscar o registro, especificação e classificação do lodo como fertilizante, biofertilizante ou condicionador de solo. A remoção teve um custo de R\$159,92/m³. Considerando as condições avaliadas nesta pesquisa, conclui-se que a utilização agrícola é a forma mais viável de disposição final de lodo de esgotos.

PALAVRAS CHAVE: Esgotos, Lodo, Tratamento Anaeróbio, Agricultura, Adubos e Fertilizantes.

Abstract

PIM, Vanderlei. ***Characterization of sewage sludge anaerobic pond packed in bags aimed at its disposal: case study – ETE Pedregulho/SP***. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2012. 256p. Dissertation (Master) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2012.

Concerns about the appropriate destination of sewage sludge made recycling a great perspective of alternative development in Brazil. The present study aims to evaluate the sludge from the anaerobic pond ETE Pedregulho / SP, operated by Sabesp, pumped and stored in bags, in relation to its quality, aiming to disposal. Three different bags were used and analyzed before, during and after pumping, it was noticed that during the time the permeability of the bags are not constant and there were changes in the characteristics of the sludge when in the bags. 614 m³ of sludge from the anaerobic pond were removed, with an improvement in the efficiency of ETE. The evolution of volumetric shrinkage of the sludge in bags revealed the interference of rain in the volume of bags. There was an evaluation of liquid that percolated. The waste sludge was characterized as Class II A (non-hazardous, non-Inert) by the ABNT NBR 10.004:2002 and considered possible to be disposed in landfill; the technique of respirometry associated to the characterization by Resolução CONAMA 375/06 - MMA makes the sludge of the anaerobic pond be applied for agricultural purposes compliance with the requirements of the Ministry of Agriculture allows searching the record, specification and classification of the sludge as fertilizer, biofertilizer and soil conditioner. The removal had a cost of R\$159,92 / m³. Considering the conditions evaluated in this study, it was concluded that agricultural use is the most viable form of disposal of sewage sludge.

KEY WORDS: Sewage, Sludge, Anaerobic treatment, Agriculture, Manures and fertilizers.

Dedicatória

Ao meu pai José Pim (in memoriam), meu eterno professor e, à minha família.

Agradecimentos

A Deus, que está acima de todas as coisas;

Ao Prof. Dr. Edevar Luvizotto Júnior, pela orientação, dedicação, apoio e, pelos ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, pela coorientação, dedicação, apoio e, pelos ensinamentos acadêmicos e de vida;

A minha família, minha esposa Cláudia e meu filho Felipe, pelo apoio, tolerância e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida;

A minha mãe Maria e aos meus irmãos, que muito me apoiaram nesta caminhada;

À SABESP, Unidade de Negócio Pardo e Grande com sede em Franca-SP, pela disponibilização de recursos e do efluente da ETE Pedregulho, pelo apoio logístico e laboratorial;

À ETEC Antonio Junqueira da Veiga (Colégio Agrícola), por ceder a área para pesquisa;

Ao amigo e chefe Rui Engrácia Garcia Caluz, Gerente de Departamento Distrital da Sabesp de Franca, pelo enorme apoio no desenvolvimento da pesquisa, nas viagens, disponibilização de recursos de infraestrutura básica, pessoal, etc.;

Ao amigo João Baptista Comparini, Diretor de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente da Sabesp, pela inspiração e incentivo aos estudos;

Ao Professor Doutor Ronaldo Stefanutti pelos ensinamentos e colaborações iniciais da pesquisa;

Ao Engenheiro Orlando Antunes Cintra Filho, pelo apoio, colaboração e intermediação junto à Unicamp;

Ao Laboratório de Reúso da FEC/UNICAMP, pelo apoio técnico na realização das determinações físicas e ensaios de lodo e solo;

Ao amigo Luccas Erickson de Oliveira Marinho, pelo apoio e colaboração direta no trabalho;

Ao Professor Doutor Francisco Anaruma Filho, pelo companheirismo, apoio e colaboração;

Ao amigo Doutor Luciano Reami, pelo apoio e colaboração direta no trabalho;

Ao amigo Alex H. Veronez, pela colaboração e companheirismo;

À amiga Regina Cristina da Silva Spirlandelli pela colaboração e companheirismo;

Ao amigo Antônio Sérgio Spolaor, pela colaboração e companheirismo;

Ao amigo Luís Antônio Salomão, pela colaboração e companheirismo;

Ao amigo Rui César Rodrigues Bueno, pela enorme colaboração.

A todos os amigos da Sabesp de Pedregulho que participaram deste processo (Ronaldo Nunes de Oliveira, Sebastião Levi Gomes, João Aparecido Lopes, José Eduardo Cândido Martins, João Batista da Silva, Marco Aurélio Garcia, Adauto do Nascimento, dentre outros) pelo incessante apoio e execução das atividades.

Aos amigos da Sabesp de Igarapava (Antônio Marcelo da Silva, Carlos Alberto da Silva, Júlio César Pereira, Analto Pinheiro, Ana Cláudia N. Souza, Dorivaldo Galdino Cardoso, Carlos Eduardo de Oliveira, Dóris Ap. Deus Seixas Cintra, Olga S. C. Simões, dentre outros) pelo apoio na conclusão da pesquisa.

Aos funcionários da ETE de Franca, em especial à Vânia Pontes O. Damasceno;

Aos funcionários do laboratório de Controle Sanitário da Sabesp de Franca (Márcia, Josimar, Paulo, Nassif, etc.);

Ao amigo Keven Maycon da Silva, pelo apoio e colaboração na compilação dos resultados;

Ao Doutor Messias Colenghi Stival Júnior pela colaboração.

“...nada que de fora entra na pessoa a torna impura,
porque não entra em seu coração, mas em seu
estômago, e vai para a **fossa...**”

Marcos 7, 18-19

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | página |
|---|---------------|
| Figura 3.1 – Foto aérea da ETE Igarapava/SP – lagoas de estabilização | 32 |
| Figura 3.2 – Esquema simplificado de uma lagoa facultativa..... | 35 |
| Figura 3.3 – Esquema de lagoa anaeróbia convencional..... | 38 |
| Figura 3.4 – Esquema de Sistema Australiano | 43 |
| Figura 3.5 – Dispositivo de entrada da lagoa anaeróbia do Roger antes do início do funcionamento - João Pessoa/PB | 50 |
| Figura 3.6 – Remoção manual do lodo de lagoa anaeróbia - Vitória (ES) | 51 |
| Figura 3.7 – Distribuição da camada de lodos na Lagoa Anaeróbia da ETE Maringá ... | 55 |
| Figura 3.8 – Fotos de <i>bags</i> antes e depois de aberto | 78 |
| Figura 3.9 – Fluxograma do processo adotado para remoção, deságue e acondicionamento do lodo no <i>bag</i> na ETE Coronel Macedo – SP (SABESP)..... | 82 |
| Figura 3.10 – <i>Bag</i> em Korumburra (Austrália) aprox. duas semanas após abertura..... | 83 |
| Figura 3.11 – Respirômetro padrão (BARTHA)..... | 86 |
| Figura 3.12 – Esquema do Respirômetro Alternativo | 87 |
| Figura 3.13 – Vista aérea da ETE Anápolis - GO..... | 92 |
| Figura 4.1 – Mapa de localização do município de Pedregulho na Região Administrativa de Franca – estado de São Paulo..... | 122 |
| Figura 4.2 – Foto Satélite parcial da cidade de Pedregulho com a ETE ao lado..... | 123 |
| Figura 4.3 – Foto aérea da ETE Pedregulho..... | 124 |
| Figura 4.4 – Vazão média da ETE Pedregulho (época de seca - 2007)..... | 125 |
| Figura 4.5 – Vazão diária da ETE Pedregulho (época de seca - 2007)..... | 125 |
| Figura 4.6 – Vazão média da ETE Pedregulho (época de chuvas - 2008)..... | 125 |
| Figura 4.7 – Vazão diária da ETE Pedregulho (época de chuvas - 2008)..... | 125 |
| Figura 4.8 – Modelo para realização de batimetria..... | 129 |
| Figura 4.9 – Esquema utilizado para a realização das batimetrias da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho..... | 130 |
| Figura 4.10 – Demarcação da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho (2008), utilizando-se a trena e tinta (5m)..... | 131 |
| Figura 4.11 – Haste rígida para medição do fundo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho (2008)..... | 131 |
| Figura 4.12 – Disco para a realização das medidas da lâmina d’água da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho | 132 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.13 – Início da preparação do local dos bags – ETE Pedregulho em 19/11/2008. | 133 |
| Figura 4.14 – Preparação do local a ser instalado um dos <i>bags</i> – ETE Pedregulho em 20/11/2008. | 134 |
| Figura 4.15 – Preparação do local com lonas e pedra brita – ETE Pedregulho em 27/11/2008. | 134 |
| Figura 4.16 – Gerador, container, caixas de adição de polímero e caixa de recebimento de lodo da draga para posterior envio para o <i>bag</i> (11/12/2008). | 135 |
| Figura 4.17 – <i>Bag</i> Importado (à esquerda) e <i>Bag</i> Nacional (à direita). | 136 |
| Figura 4.18 – Fotos do <i>Bag</i> Nacional antes e depois de receber lodo. | 136 |
| Figura 4.19 – Foto dos <i>bags</i> : Alternativo (branco) no início de seu enchimento e Importado (preto) ainda vazio (16/12/2008). | 137 |
| Figura 4.20 – Foto do <i>Bag</i> Alternativo depois de receber esgotos (23/12/2008). | 138 |
| Figura 4.21 – Foto do <i>Bag</i> Importado depois de receber esgotos e do <i>Bag</i> Alternativo aberto (19/02/2009). | 138 |
| Figura 4.22 – Polímero utilizado no lodo bombeado (baldes de 20 kg). | 140 |
| Figura 4.23 – Caixas de mistura de polímero – ETE Pedregulho. | 140 |
| Figura 4.24 – Ponto de aplicação de polímero – ETE Pedregulho. | 141 |
| Figura 4.25 – Draga para bombeamento da lagoa anaeróbia para a caixa de mistura – ETE Pedregulho. | 143 |
| Figura 4.26 – Lodo dragado para depois ser bombeado para os <i>bags</i> pela bomba instalada no tanque – ETE Pedregulho. | 144 |
| Figura 4.27 – Bomba utilizada para o polímero – ETE Pedregulho. | 145 |
| Figura 4.28 – Foto do percolado do <i>Bag</i> Nacional. | 147 |
| Figura 4.29 – Coleta de amostra do percolado do <i>Bag</i> Importado. | 148 |
| Figura 4.30 – Coletor de lodo do tipo êmbolo para o interior da lagoa. | 149 |
| Figura 4.31 – Coletor para extrair lodo do interior dos <i>bags</i> . | 149 |
| Figura 4.32 – Tambor e jarra para coleta de amostras da entrada e saída da lagoa. | 150 |
| Figura 4.33 – Cavadeira para coleta de solo. | 151 |
| Figura 4.34 – Coletor de lodo do <i>Bag</i> Alternativo. | 152 |
| Figura 4.35 – Tubo de PVC para retirada do material percolado. | 152 |
| Figura 4.36 – Assepsia dos frascos e baldes. | 153 |
| Figura 4.37 – Coleta de amostras (24/11/2008). | 154 |
| Figura 4.38 – Foto em 19/02/2009 do <i>Bag</i> Nacional rompido. | 166 |
| Figura 4.39 – Foto em 27/03/2009 do <i>Bag</i> Importado. | 166 |
| Figura 4.40 – Pontos de coletas pontuais: Helmintos, Nitrogênio, Carbono e Areia no lodo. | 168 |
| Figura 4.41 – Descrição das alturas das coletas dentro da lagoa anaeróbia. | 168 |
| Figura 4.42 – Pontos de coleta: ABNT NBR 10.004:2004 e Res. CONAMA 344/04. | 169 |
| Figura 4.43 – Descrição das alturas das coletas: 0,20m e Fundo. | 169 |
| Figura 4.44 – Pontos de coleta: Coliformes Totais, <i>E. coli</i> , DBO e DQO. | 170 |
| Figura 4.45 – Pontos de coleta: Potássio. | 171 |
| Figura 4.46 – Pontos de coleta: Metais. | 172 |
| Figura 5.1 – Batimetria realizada em 24/11/2008 (antes do bombeamento – em metros) – Lagoa Anaeróbia da ETE Pedregulho. | 176 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.2 – Batimetria realizada na Lagoa Anaeróbia da ETE Pedregulho em 26/03/2009 (após bombeamento – em metros). | 177 |
| Figura 5.3 – Apresentação das batimetrias em cortes longitudinais. | 178 |
| Figura 5.4 – Batimetria da lagoa facultativa da ETE Pedregulho em 05/04/2012. | 179 |
| Figura 5.5 – Planilha de cálculo de vazão da bomba. | 182 |
| Figura 5.6 – Resultados CONAMA 344/04: Análise granulométrica simplificada do lodo da ETE Pedregulho. | 198 |
| Figura 5.7 – 1ª Respirometria - Evolução de CO ₂ (mg) na amostra de solo incubado com o lodo nas diferentes concentrações. | 204 |
| Figura 5.8 – 1ª Respirometria - Valores totais cumulativos do período analisado (91 dias), por tratamento. | 204 |
| Figura 5.9 – 2ª- Respirometria - Evolução de CO ₂ (mg) na amostra de solo incubado com o lodo nas diferentes concentrações. | 206 |
| Figura 5.10 – Evolução da média das alturas (m) do <i>Bag</i> Importado (14 meses)..... | 221 |
| Figura 5.11 – Evolução da média das alturas (m) do <i>Bag</i> Nacional (14 meses)..... | 221 |
| Figura 5.12 – Evolução da média das alturas (m) do <i>Bag</i> Alternativo (apenas 23 dias). | 221 |
| Figura 5.13 – Evolução do período bombeado para o <i>Bag</i> Importado (m)..... | 222 |
| Figura 5.14 – Evolução do período bombeado para o <i>Bag</i> Nacional (m). | 223 |
| Figura 5.15 – Evolução do período bombeado para o <i>Bag</i> Alternativo (m). | 223 |
| Figura 5.16 – Comparativo das alturas dos <i>bags</i> (m) com o índice pluviométrico (mm) | 225 |
| Figura 5.17 – Foto do <i>Bag</i> Alternativo – 18/04/2012. | 230 |

LISTA DE TABELAS

| | página |
|---|---------------|
| Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens do processo de tratamento de esgoto por lagoa facultativa | 36 |
| Tabela 3.2 – Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios | 41 |
| Tabela 3.3 - Parâmetros de projetos e áreas necessárias por habitante no tratamento de esgotos utilizando lagoas de estabilização | 44 |
| Tabela 3.4 - Faixas de eficiências de remoção (%), de constituintes físico-químicos, organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização | 45 |
| Tabela 3.5 – Gerenciamento do lodo em lagoas de estabilização | 49 |
| Tabela 3.6 – Principais características do lodo da lagoa anaeróbia de Eldorado – Vitória/ES nas diversas profundidades..... | 54 |
| Tabela 3.7 – Quantificação de sólidos em <i>bags</i> – ETE por lodo ativado..... | 63 |
| Tabela 3.8 – Micro-organismos presentes nos esgotos domésticos brutos..... | 66 |
| Tabela 3.9 – Porcentagem de redução, no esgoto, de alguns tipos de patogênicos, em alguns processos de tratamento de esgotos (%) | 67 |
| Tabela 3.10 – Principais doenças relacionadas com os dejetos | 70 |
| Tabela 3.11 – Concentração de sólidos no lodo acondicionado após 4 meses de desaguamento – ETE Gália | 81 |
| Tabela 3.12 – Custos para os processos de remoção com dragagem, centrifugação e disposição em aterro | 94 |
| Tabela 3.13 – Custos para os processos de remoção com dragagem em <i>bag</i> e disposição em aterro sanitário (400 km) | 94 |
| Tabela 3.14 – Custos os processos de remoção com dragagem em <i>bag</i> e disposição em solo agrícola (50 km) | 94 |
| Tabela 3.15 – Custos para os processos de remoção com dragagem em <i>bag</i> e coprocessamento em indústria cimenteira (300 km) | 95 |
| Tabela 3.16 – Demonstrativo de custos totais para cada proposta (ETE Anápolis/GO) | 95 |
| Tabela 3.17 – Concentrações máximas admissíveis de poluentes no lodo e nos solos que recebem lodo nos EUA | 97 |
| Tabela 3.18 – Diretrizes da comunidade Europeia (1986) para presença de metais no lodo e no solo agrícola (valor máximo permitido em base seca)..... | 101 |
| Tabela 3.19 – Padrões referentes a metais em lodo de esgoto utilizados na agricultura e nos solos agrícolas (Normas dos EUA e da Comunidade Europeia) | 102 |
| Tabela 3.20 – Concentrações limites para metais pesados e outras substâncias perigosas no lodo para utilização como fertilizantes (no Japão)..... | 103 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 3.21 – Lodo de esgoto ou produto derivado – substâncias inorgânicas – Resolução CONAMA 375/06 (mg/kg, base seca) | 109 |
| Tabela 3.22 – Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos – Resolução CONAMA 375/06..... | 109 |
| Tabela 3.23 – Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas, pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas | 110 |
| Tabela 3.24 – Concentrações permitidas de substâncias orgânicas em solos agrícolas - – Resolução CONAMA 375/06 (mg/kg)..... | 111 |
| Tabela 3.25 – Indicadores e densidades exigidas para verificação de processos de redução adicional de patógenos – CETESB P4230/99 | 116 |
| Tabela 3.26 – Concentração máxima de metais pesados permitidos no lodo de esgoto ou produto derivado | 117 |
| Tabela 3.27 – Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodos– CETESB P4230/99 | 117 |
| Tabela 3.28 – Cargas cumulativas máximas permitidas de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas (kg/ha) | 118 |
| Tabela 4.1 – Avaliação Preliminar do Polímero usado no lodo – ETE Pedregulho | 142 |
| Tabela 4.2 – NBR 10.004/04 - Orgânicos – Solubilizado (SVOC)..... | 155 |
| Tabela 4.3 – NBR 10.004/04 - Orgânicos – Lixiviado (VOC)..... | 155 |
| Tabela 4.4 – NBR 10.004/04 - Orgânicos – Lixiviado (SVOC) | 156 |
| Tabela 4.5 – CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Metais Pesados e Arsênio | 157 |
| Tabela 4.6 – CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Carbono Orgânico Total e Nutrientes..... | 157 |
| Tabela 4.7 – CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos | 157 |
| Tabela 4.8 – CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Pesticidas Organoclorados | 158 |
| Tabela 5.1 – Porcentagem de sólidos dos pontos da lagoa anaeróbia | 181 |
| Tabela 5.2 – Média dos testes de vazão das bombas (tempo para bombear 12 m ³) ... | 183 |
| Tabela 5.3 – Análise de DBO, DQO, Coliformes Totais e <i>E. coli</i> em 24/11/08 (antes da remoção, na lagoa anaeróbia) | 185 |
| Tabela 5.4 – Porcentagem de sólidos e metais coletados em 03/12/08 na entrada e saída da lagoa anaeróbia (antes da remoção)..... | 186 |
| Tabela 5.5 – Análises realizadas na entrada da lagoa anaeróbia durante o processo de dragagem | 187 |
| Tabela 5.6 – Análises realizadas na saída da lagoa anaeróbia durante a dragagem .. | 187 |
| Tabela 5.7 – Desempenho da ETE Pedregulho antes, durante e depois do bombeamento | 189 |
| Tabela 5.8 – Análise de helmintos e protozoários na entrada e saída da lagoa anaeróbia | 190 |
| Tabela 5.9 – Novas análises de helmintos e protozoários na entrada e saída da lagoa anaeróbia – 18/05/2009 | 191 |
| Tabela 5.10 – Análise de testes lixiviação (pH, tempo, sólidos e volume) | 192 |
| Tabela 5.11 – Análise de teste de lixiviação (exames físico-químicos)..... | 193 |
| Tabela 5.12 – Análises de teste de massa bruta (exames físico-químicos)..... | 193 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 5.13 – Análises de teste de massa bruta (organolépticos)..... | 194 |
| Tabela 5.14 – Análise de teste de solubilização (pH, volume de água deionizada e membrana filtrante). | 194 |
| Tabela 5.15 – Análises de teste de solubilização (exames físico-químicos). | 195 |
| Tabela 5.16 – Resultados analíticos NBR 10.004/04 Orgânicos - Solubilização (SVOC). | 196 |
| Tabela 5.17 – Resultados analíticos NBR 10.004/04 Orgânicos - Lixiviados (VOC).... | 196 |
| Tabela 5.18 – Resultados analíticos NBR 10.004/04 Orgânicos - Lixiviados (SVOC). .. | 197 |
| Tabela 5.19 – CONAMA 344/04: Resultados de Metais Pesados e Arsênio..... | 199 |
| Tabela 5.20 – CONAMA 344/04: Resultados Carbono Orgânico Total e Nutrientes.... | 199 |
| Tabela 5.21 – CONAMA 344/04: Resultados Hidrocarbonetos Policíclico Aromáticos | 200 |
| Tabela 5.22 – CONAMA 344/04: Resultados de Pesticidas Organoclorados. | 201 |
| Tabela 5.23 – Concentração de Carbono, Nitrogênio e umidade do lodo..... | 202 |
| Tabela 5.24 – 1ª Respirometria – Quantidade de CO ₂ liberado por tratamento (mg). .. | 203 |
| Tabela 5.25 – 1ª Respirometria – Percentual de degradação em 91 dias..... | 205 |
| Tabela 5.26 – Concentração de Carbono, Nitrogênio e umidade - 2ª Respirometria. .. | 205 |
| Tabela 5.27 – 2ª Respirometria – Percentual de degradação em 56 dias..... | 206 |
| Tabela 5.28 – Comparativo de respirometrias – Percentual de degradação após 56 dias. | 207 |
| Tabela 5.29 – Comparativo das respirometrias – dias com ocorrência de 30% de degradação de CO ₂ | 208 |
| Tabela 5.30 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – caracterização do lodo. | 209 |
| Tabela 5.31 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – substâncias inorgânicas no lodo (mg/kg, base seca). | 210 |
| Tabela 5.32 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – agentes patogênicos. .. | 210 |
| Tabela 5.33 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – substâncias inorgânicas (Benzenos clorados) em mg/kg..... | 211 |
| Tabela 5.34 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – substâncias inorgânicas (Ésteres de ftalatos, Fenóis e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) em mg/kg. | 212 |
| Tabela 5.35 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – substâncias inorgânicas (Poluentes orgânicos persistentes – POP`S) em mg/kg. | 213 |
| Tabela 5.36 – Análise de <i>E. coli</i> e Porcentagem de Sólidos – <i>Bag</i> Importado..... | 217 |
| Tabela 5.37 – Comparativo Res. CONAMA 375/06 com mapa – anexo IV e V da IN 27/06 | 219 |
| Tabela 5.38 – Índice Pluviométrico do município de Pedegulho (mm)..... | 224 |
| Tabela 5.39 – Resultados analíticos do líquido percolado dos <i>bags</i> | 227 |
| Tabela 5.40 – Comparativo entre as análises realizadas – Metais e Nutrientes | 231 |
| Tabela 5.41 – Comparativo entre as análises realizadas – substâncias orgânicas (Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) em mg/kg | 232 |
| Tabela 5.42 – Comparativo entre as análises realizadas – Poluentes Orgânicos Persistentes (mg/kg) | 233 |
| Tabela 5.43 – Comparativo entre as análises realizadas – Carbono, Nitrogênio e umidade (mg/kg) | 233 |
| Tabela 5.44 – Comparativo entre as análises realizadas – agentes patogênicos | 234 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 5.45 – Análises de Helmintos e protozoários – lodo da lagoa anaeróbia | 235 |
| Tabela 5.46 – Análises de Helmintos e protozoários – 18/05/2010..... | 237 |
| Tabela 5.47 – Custo estimado total das análises realizadas..... | 242 |
| Tabela 5.48 – Custo total durante o experimento..... | 244 |

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

| | |
|------------------|---|
| % | Porcentagem |
| % p/p | Percentual por partícula |
| % ST | Percentual de Sólidos totais |
| 1/3 | Um terço |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AFNOR | Associação Francesa de Normalização |
| ASTM | Sociedade Americana de Testes e Materiais |
| C | Carbono |
| C/N | Relação Carbono/Nitrogênio |
| C/P | Relação Carbono/Fósforo |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CF/gST | Coliformes fecais por grama de Sólidos totais |
| CH ₄ | Metano |
| cm/ano | Centímetro por ano |
| CN | Cianeto |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CV | Cavalos-vapor |
| DAEE | Departamento de Água e Energia Elétrica |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DBO ₅ | Demanda Bioquímica de Oxigênio durante cinco dias |
| DDD | Dicloro Difenil Dicloro Etano |
| DDE | Dicloro Difenil Dicloro Etileno |
| DDT | Dicloro-Difenil-Tricloroetano |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgotos |

| | |
|--|---|
| g | Gramma |
| G | Geotecido |
| g/l | Gramma por litro |
| GM | Geomembrana |
| ha | Hectare |
| HPA | Hidrocarboneto policíclico aromático |
| IGS | Associação Brasileira de Geossintéticos |
| kg | Quilograma |
| kg DBO.(m ³ .dia) ⁻¹ | Quilograma de Demanda Bioquímica de Oxigênio por metro cúbico por dia |
| kg DBO/ha.dia | Quilograma de Demanda Bioquímica de Oxigênio por hectare por dia |
| Kg lodo/hab.ano | Quilograma de lodo por habitante por ano |
| kg SS/hab.ano | Quilograma de sólidos suspensos por habitante por ano |
| Kg SST/hab.ano | Quilograma de sólidos suspensos totais por habitante por ano |
| Kg/dia | Quilograma por dia |
| kg/ha | Quilograma por hectare |
| Kg/ha.ano | Quilograma por hectare por ano |
| kg/t | Quilograma por tonelada |
| kg/t.ST | Quilograma por tonelada de Sólidos Totais |
| kgST/m ² | Quilograma de sólidos totais por metro quadrado |
| km | Quilômetro |
| KOH | Hidróxido de Potássio |
| l lodo/hab.dia | Litros de lodo por habitante por dia |
| l/hab.ano | Litros por habitante por ano |
| l/hab.dia | Litros por habitante por dia |
| l/s | Litros por segundo |
| log | Logaritmo |
| LQ | Limite de quantificação |
| m | Metro |
| m ² | Metro quadrado |
| m ² /hab | Metro quadrado por habitante |
| m ³ | Metro cúbico |
| m ³ /dia | Metro cúbico por dia |
| m ³ /h | Metro cúbico por hora |
| m ³ /hab.ano | Metro cúbico por habitante por ano |
| MAPA | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento |

| | |
|-----------------------|---|
| MAPA | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento |
| mca | Metros de coluna de água |
| mg | Miligrama |
| mg/g | Miligrama por grama |
| mg/kg | Miligrama por quilo |
| mg/kg MS | Miligrama por quilograma de matéria seca |
| mg/l | Miligrama por litro |
| mm | Milímetro |
| N | Nitrogênio |
| N/ha | Nitrogênio por hectare |
| NBR | Norma Brasileira |
| NMP/100g | Números mais prováveis em 100 gramas |
| NMP/g | Número mais provável por grama |
| NTK | Nitrogênio Kjeldahl |
| O ₂ | Oxigênio |
| O ₂ /L | Oxigênio por litro |
| °C | Grau Celsius |
| org/100 ml | Organismo a cada 100 mililitros |
| org/hab.dia | Organismo por habitante por dia |
| ovos/gST | Ovos por grama de Sólidos totais |
| P/A | Presença/Ausência |
| pH | Potencial hidrogeniônico |
| PM/100 m ² | Ponto de medição por cada 100 metros quadrados |
| Pt/Co | Escala Platina-Cobalto |
| R\$ | Real |
| R\$.t-1 | Reais por tonelada |
| RALF | Reator anaeróbio de lodo fluidizado |
| rpm | Rotação por minuto |
| S ₂ | Sulfeto |
| SABESP | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| SEADE | Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados |
| SISCOMEX | Sistema Integrado de Comércio Exterior |
| sólidos/hab./ano | Sólidos por habitante por ano |
| SS | Sólidos suspensos |
| SS/hab.ano | Sólidos suspensos por habitante por ano |
| SS/hab.dia | Sólidos suspensos por habitante por dia |

| | |
|------------------|--|
| SST | Sólidos suspensos totais |
| SST/hab.ano | Sólidos suspensos totais por habitante por ano |
| SST/hab.dia | Sólidos suspensos totais por habitante por dia |
| SSV/hab.dia | Sólidos suspensos voláteis por habitante por dia |
| ST | Sólidos totais |
| SV/ST | Sólidos voláteis por Sólidos Totais |
| SVOC | Composto orgânico semi volátil |
| t/ha | Tonelada por hectare |
| t/km | Tonelada por quilômetro |
| t/m ³ | Tonelada por metro cúbico |
| TDH | Tempo de detenção hidráulica |
| UASB | <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanquet</i> (Reator Anaeróbio de fluxo ascendente) |
| UFP/g | Unidade formadora de placa por grama |
| USD | United States Dollar (Dólar dos Estados Unidos) |
| USD/hab.ano | Dólar por habitante por ano |
| VMP | Valor máximo permitido |
| VOC | Composto Orgânico Volátil |
| µg/kg | Micrograma por quilo |
| µS/cm | micro Siemens por centímetro |

SUMÁRIO

| | Página |
|--|------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 25 |
| 2 OBJETIVOS..... | 27 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 27 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 27 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 29 |
| 3.1 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO | 29 |
| 3.1.1 Lagoas Facultativas | 33 |
| 3.1.2 Lagoas Anaeróbias | 36 |
| 3.1.3 Sistema Australiano | 41 |
| 3.2 LODO DE LAGOAS DE ESGOTOS | 45 |
| 3.2.1 Geração e Produção..... | 45 |
| 3.2.2 Gerenciamento de lodos em Lagoas Anaeróbias..... | 48 |
| 3.2.3 Características de lodo de ETE's | 57 |
| 3.3 MICRO-ORGANISMOS PATOGÊNICOS | 63 |
| 3.3.1 Aspectos de Saúde Pública | 69 |
| 3.4 CONDICIONAMENTO / POLÍMEROS | 73 |
| 3.5 ACONDICIONAMENTO/DESAGUAMENTO | 76 |
| 3.5.1 Desaguamento de lodo em <i>Bags</i> | 76 |
| 3.6 RESPIROMETRIA | 84 |
| 3.7 UTILIZAÇÃO DE LODO NA AGRICULTURA..... | 89 |
| 3.8 CUSTOS..... | 93 |
| 3.9 LEGISLAÇÃO..... | 96 |
| 3.9.1 Normas Internacionais..... | 96 |
| 3.9.2 Normas Brasileiras..... | 105 |
| 3.9.3 Normas específicas para os <i>bags</i> | 118 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS..... | 121 |
| 4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO | 121 |
| 4.1.1 Dados da ETE | 123 |
| 4.2 BATIMETRIA DA LAGOA ANAERÓBIA..... | 126 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.3 | PREPARAÇÃO DO LOCAL..... | 132 |
| 4.3.1 | Tipos de <i>bags</i> utilizados..... | 135 |
| 4.4 | PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DA RETIRADA DO LODO..... | 139 |
| 4.4.1 | Polímero..... | 139 |
| 4.4.2 | Bombeamento..... | 143 |
| 4.4.3 | Retração volumétrica do lodo no <i>bag</i> | 145 |
| 4.5 | PROCEDIMENTO DE COLETAS, ENSAIOS E ANÁLISES..... | 147 |
| 4.5.1 | Tipos de coletores..... | 148 |
| 4.5.2 | Métodos de análises e ensaios..... | 154 |
| 4.6 | DESEMPENHO DA ETE..... | 162 |
| 4.7 | LODO..... | 162 |
| 4.7.1 | Caracterização do lodo segundo Norma ABNT NBR 10.004:2004 e Resolução CONAMA 344/04 - MMA..... | 162 |
| 4.7.2 | Ensaio Respirométrico..... | 163 |
| 4.7.3 | Caracterização do lodo conforme Resolução CONAMA 375/06 - MMA E MAPA..... | 164 |
| 4.7.4 | Acompanhamento dos <i>bags</i> durante o tempo..... | 165 |
| 4.8 | DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO / DELINEAMENTO EXPERIMENTAL..... | 167 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 175 |
| 5.1 | BATIMETRIAS REALIZADAS..... | 175 |
| 5.2 | RETIRADA DO LODO / BOMBEAMENTO PARA OS <i>BAGS</i> | 182 |
| 5.3 | DESEMPENHO DA ETE..... | 185 |
| 5.4 | CARACTERIZAÇÃO DO LODO SEGUNDO NORMA ABNT NBR 10.004/04 E RESOLUÇÃO CONAMA 344/04 - MMA..... | 192 |
| 5.5 | ENSAIOS RESPIROMÉTRICOS..... | 202 |
| 5.6 | CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS NOS <i>BAGS</i> CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA 375/06..... | 209 |
| 5.7 | CARACTERIZAÇÃO DO LODO CONFORME MAPA..... | 218 |
| 5.8 | RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA DO LODO NO <i>BAG</i> | 220 |
| 5.9 | ANÁLISE DO LÍQUIDO PERCOLADO DOS <i>BAGS</i> | 227 |
| 5.10 | ACOMPANHAMENTO DOS <i>BAGS</i> DURANTE O TEMPO..... | 229 |
| 5.11 | DECAIMENTO BACTERIANO..... | 234 |
| 5.11.1 | Análise da população local..... | 239 |
| 5.12 | APURAÇÃO DE CUSTOS..... | 240 |
| 5.12.1 | Custos durante o experimento..... | 241 |
| 5.12.2 | Custos da destinação..... | 245 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 249 |
| 7 | RECOMENDAÇÕES..... | 253 |
| 8 | REFERÊNCIAS..... | 255 |

1 INTRODUÇÃO

O aumento da quantidade de sistemas de tratamento de esgotos construídos nas últimas décadas e a necessidade de uma destinação final dos resíduos gerados por estes sistemas, fizeram com que se intensificassem as preocupações das empresas de saneamento com o adequado destino dos lodos de esgotos.

Muitas lagoas de tratamento implantadas no passado não contemplavam em seus projetos a destinação final dos resíduos gerados, fazendo com que, atualmente, haja a necessidade de melhoria destes sistemas ou da utilização de técnicas de remoção e descarte de lodo que não demandem altos investimentos.

Os órgãos ambientais tiveram uma grande parcela de contribuição e influência no momento em que se passaram a exigir dos municípios e das empresas, construções de estações de tratamento de esgotos (ETE's), eliminando ou minimizando focos de contaminação ambiental e também cobrando a adequada disposição dos resíduos.

Neste contexto, a reciclagem passa a ser uma alternativa que apresenta grande perspectiva de evolução, pois pode ser econômica e ambientalmente viável. Além da utilização na agricultura, temos como exemplos a incineração e o coprocessamento pela indústria cimenteira.

No Brasil, devido a diversos fatores como temperatura, disponibilidade de área, escassez de mão de obra qualificada e altos custos, muitos processos de tratamento de esgotos foram concebidos por lagoas de estabilização, no qual o sistema australiano

(lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa) foi uma das boas opções na hora da tomada de decisão. Este sistema foi o adotado na ETE Pedregulho, caso em estudo.

Os leitores poderão observar que a tecnologia utilizada neste caso, é a de desaguamento em grandes recipientes de geotecidos denominados *bags*. Esta tecnologia está sendo atualmente utilizada pelas empresas de saneamento básico, com um retorno muito positivo.

Na Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), diversas lagoas de tratamento de esgotos estão sofrendo um processo de remoção de lodos, utilizando-se da tecnologia “*bag*” no acondicionamento e desidratação. Como exemplo, destacam-se os trabalhos realizados nas Unidades de Negócios Pardo e Grande (região de Franca/SP) e Alto Paranapanema (região de Itapetininga/SP).

Neste estudo, pretende-se verificar o comportamento do lodo de lagoa anaeróbia que, após seu acondicionamento, possa ser caracterizado nas condições físicas, químicas e biológicas, visando a sua disposição. Com suposto desdobramento para a área agrônômica, a hipótese é que o lodo possa apresentar condições de ser aplicado, sob taxas adequadas, visando à produção agrícola, levando sempre em consideração as recomendações dos órgãos ambientais e legislações pertinentes.

Estudos como este podem contribuir na discussão das legislações existentes, dando mais confiança aos órgãos ambientais e uma nova perspectiva para os operadores dos processos de tratamento de esgotos.

Ao invés da retirada do lodo ser interpretada como um problema, por aumentar a despesa operacional da ETE, espera-se que ela seja interpretada como uma oportunidade de novos negócios, como exemplo à reciclagem na agricultura, podendo-se ter em mãos um produto condicionador de solo ou até mesmo adubo orgânico. Com isso, se torna importante, como no caso da Sabesp, saber se estes tipos de lodos de lagoas têm características semelhantes, visando a finalidades idênticas como, por exemplo, o registro junto ao Ministério da Agricultura de um novo produto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o lodo retirado de lagoa de estabilização anaeróbia ao longo do tempo e o comportamento em relação à qualidade nos *bags*, durante o experimento, visando a sua possível disposição/aplicação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o desempenho da ETE após a retirada do lodo da lagoa anaeróbia;
- Verificar o condicionamento do lodo de esgotos e avaliar a possibilidade quanto à disposição em aterro sanitário;
- Avaliar a possibilidade quanto à disposição controlada no solo para uso agrícola;
- Verificar o comportamento dos *bags* durante o processo de enchimento e desidratação, quanto à sua qualidade e alteração das características do lodo;
- Avaliar o custo da remoção e acondicionamento em *bags*, bem como da sua disposição/aplicação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre os vários assuntos apresentados de elevada importância para esta dissertação, poderão ser vistos neste capítulo, o sistema de lagoas de estabilização, com ênfase à lagoa anaeróbia, caso deste estudo; temas que pretendem apresentar o lodo de esgotos gerados pelos sistemas anaeróbios de tratamento; pretende-se transmitir uma reflexão sobre a tecnologia utilizada (*bag*); além de dar uma visão da legislação aplicada na disposição em aterro sanitário e na aplicação em solo agrícola com segurança.

3.1 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

A própria natureza tem condições de promover o tratamento de esgotos, que podem ocorrer naturalmente no solo ou na água, desde que tenham condições apropriadas que permitam a evolução, reprodução e crescimento dos organismos que decompõem a matéria orgânica despejada. Uma estação de tratamento de esgotos explora estes mesmos organismos, procurando-se otimizar os processos e minimizar os custos. Visa obter uma maior eficiência possível, respeitando-se as restrições que se impõem pela proteção do corpo receptor e pelas limitações de recursos disponíveis (CAMPOS *et al.*, 1999).

Os principais organismos encontrados nos esgotos são: bactérias, fungos, protozoários, helmintos, vírus e algas. Destes, as bactérias são as mais importantes por

ser responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica (BRASIL, 1999). O mesmo comentário é feito por PEREIRA (2007) quando se refere à importância das bactérias para uma ETE.

Segundo DACACH (1981), como qualquer ser vivo, as bactérias precisam de oxigênio para sua sobrevivência sendo que, algumas, as chamadas aeróbias, utilizam-no no estado livre, no ar atmosférico ou dissolvido na água, e outras, denominadas anaeróbias, têm que desdobrar substâncias compostas para obtê-lo. Também existem as bactérias facultativas, que podem viver no oxigênio livre ou combinado.

Nos processos de tratamento por lagoas de estabilização, a matéria orgânica proveniente dos esgotos brutos gerados, serve de alimento para as bactérias presentes no meio, ocorrendo um processo natural de tratamento, bioestabilizando esta matéria orgânica, gerando um lodo remanescente e liberando um efluente final.

Os objetivos primordiais do tratamento do esgoto são a transformação de matérias orgânicas em inorgânicas, e a remoção dos micro-organismos patogênicos e de matéria tóxica, a fim de garantir a saúde pública e a proteção do meio ambiente.

Nas lagoas de estabilização, os esgotos são lançados e mantidos durante vários dias (tempo de detenção), necessários para que a matéria orgânica sofra a ação de processos naturais de tratamento físico, bioquímico e biológico (DACACH, 1981).

Existem inúmeros processos de tratamento de esgotos, porém, especial atenção deve ser dada aos que sejam de simples operação e de baixo custo, uma vez que a maioria da população brasileira é carente de recursos financeiros (CERQUEIRA, 2004).

Citando um breve histórico, VICTORETTI (1973) relata sobre ser uma tarefa quase impossível determinar onde e quando se utilizaram lagoas de estabilização de esgotos sanitários pela primeira vez. A prática de se utilizar tanques para a aplicação de fezes, visando à produção de peixes, era muito comum na China, onde usavam fezes

humanas ao invés de suínas. Já BRANCO (1978) cita que, desde o ano de 1900, vem sendo utilizado sistema de lagoas em cidades europeias, especificamente em Estrasburgo (França). No passado, eram colocados nesses tanques, animais, tais como micro-crustáceos, larvas de insetos, moluscos, etc., e vegetais de formas fixas, enraizadas no fundo.

O fato é que não se pode negar a evolução e modernização dos processos de tratamento de esgotos, e é incontestável que as lagoas de estabilização, pelo seu tipo de operação e baixo custo, constitui-se, atualmente, como um dos métodos mais indicados para este fim, dependendo das condições do clima e disponibilidade de área.

Muito utilizado no Brasil devido às condições climáticas e, como se disse anteriormente, ao seu baixo custo de implantação e operação, as lagoas de estabilização tem uma facilidade de operação com pouca mão de obra e uma capacidade de produzir um efluente com boa redução de carga orgânica (DBO), constituindo-se num sistema de tratamento secundário (CHERNICHARO, 1997).

Estas lagoas basicamente funcionam com uma entrada do esgoto bruto e uma saída do efluente final, tendo no percurso um tempo de detenção hidráulica, quando ocorrem alguns processos naturais físicos, bioquímicos e biológicos, que vão purificando o efluente.

O processo de tratamento por lagoas de estabilização caracteriza-se pela remoção de matéria orgânica. No entanto verifica-se que, com algumas adaptações no fluxograma e na geometria das lagoas, podem ser alcançadas elevadas eficiências de remoção de organismos patogênicos, nos seus principais indicadores (coliformes e ovos de helmintos). Com esse sistema também pode-se obter uma significativa remoção de nitrogênio e até mesmo de fósforo (VON SPERLING, 2002).

Fatores ambientais como a temperatura e radiação solar interferem no funcionamento de uma lagoa de estabilização. Segundo BRANCO (1978), a eficiência da lagoa, com respeito à estabilização do esgoto, aumenta com a elevação da

temperatura. A eficiência depende, em grande parte, da produção de oxigênio por fotossíntese, e esta, por sua vez, está na dependência do número de algas, ou melhor, concentração de clorofila existente na água da lagoa, bem como, além disso, da intensidade luminosa. Existem outros fatores importantes como o fornecimento de nutrientes que contribuem para a sobrevivência de bactérias e algas, o oxigênio, variações do pH, a profundidade da lagoa e a sua área.

As lagoas podem ser caracterizadas pelo tipo de bactérias que realizam a estabilização da matéria orgânica. Segundo RUGGERI JÚNIOR (2011), dependendo das atividades microbiológicas e das reações prevaletentes para a estabilização da matéria orgânica, as lagoas de estabilização podem ser classificadas como: anaeróbias, facultativas e de maturação.

A Figura 3.1 apresenta um sistema de tratamento de esgotos concebido por lagoas de estabilização da cidade de Igarapava/SP, operada pela Sabesp.

Figura 3.1 - Foto aérea da ETE Igarapava/SP – lagoas de estabilização



Fonte: AUTOR (2010).

Sua construção é simples, baseando-se principalmente em movimento de terra de escavação e preparação dos taludes. Há diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área. Além das lagoas facultativas e do sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas, cujo principal objetivo é a remoção da matéria carbonácea, há também as *lagoas de maturação*, direcionadas à remoção de organismos patogênicos. Há ainda, as *lagoas de polimento*, conceitualmente similares às lagoas de maturação, mas que recebem essa nomenclatura específica por realizarem o polimento de efluentes de estações de tratamento, em particular, dos reatores anaeróbios. Além da efetiva remoção de organismos patogênicos, alcança-se ainda certo polimento na qualidade do efluente, em termos de matéria orgânica (GONÇALVES, 2003).

3.1.1 Lagoas Facultativas

Nas lagoas facultativas ocorre a estabilização de matéria orgânica pela atividade aeróbia na zona superficial e pela atividade anaeróbia na zona de fundo. Normalmente ocorre por receberem material que se sedimenta na lagoa, ficando difícil a sobrevivência das bactérias aeróbias no fundo e dando lugar ao processo anaeróbio.

As lagoas facultativas são escavações mais rasas, com profundidades típicas na faixa de 1,5 a 2,0 m e áreas de espelho de água relativamente maiores do que as das anaeróbias (VON SPERLING, 2002).

Segundo VON SPERLING (1996), na lagoa facultativa, a DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese. O autor também cita que a estabilização da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas, implicando a necessidade de um elevado período de detenção na lagoa (usualmente superior a 20 dias).

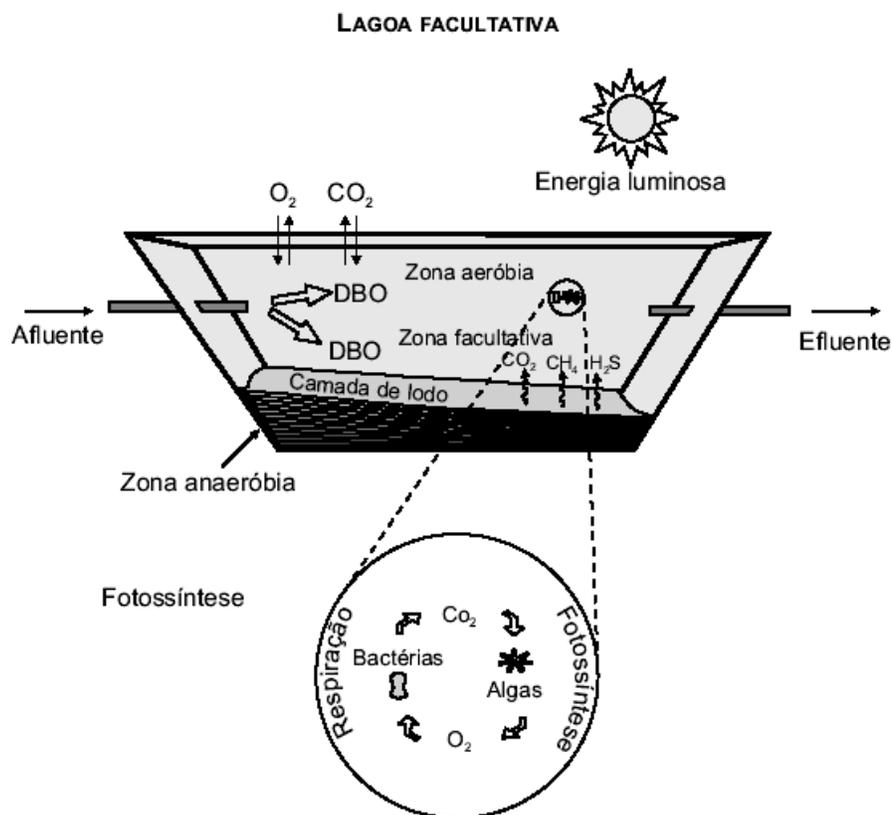
ARAÚJO (2000) comenta que o processo ocorre com taxas mais lentas, sendo necessário tempo de detenção entre 15 e 45 dias em função da cinética de remoção de DBO e do regime hidráulico da lagoa. Em locais de clima mais quente pode-se adotar tempo de detenção menor e em locais com alta concentração de DBO, o tempo de detenção tende a ser elevado.

As lagoas facultativas podem ser definidas como dispositivos de tratamentos para os quais são encaminhados esgotos brutos ou pré-tratados, visando à estabilização bioquímica da matéria orgânica afluyente. Este processo pode ocorrer por meio do metabolismo de organismos aeróbios, que se utiliza de oxigênio produzido pelas algas que aí se proliferam e por meio de organismos anaeróbios que proliferam na camada de lodo que se depositam no fundo (UEHARA & VIDAL,1989).

Também podem ser definidas como um corpo de água lântico, construído pelo homem, e destinados a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica, esgoto sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas (UEHARA & VIDAL,1989).

A Figura 3.2 apresenta um esquema simplificado de uma lagoa facultativa no qual é identificado a zona anaeróbia, no fundo da lagoa, a zona aeróbia na parte mais rasa e uma área intermediária denominada zona facultativa.

Figura 3.2 - Esquema simplificado de uma lagoa facultativa



Fonte: VON SPERLING (2005).

Normalmente as lagoas facultativas possuem um tratamento preliminar com caixas de areia para retirada do material inerte e gradeamento, que retiram os materiais grosseiros, evitando ir para o fundo da lagoa, além de medidor de vazão.

A limpeza das lagoas fotossintéticas (também chamadas facultativas) é feita em longos intervalos de tempo, normalmente superiores a 10 ou até 20 anos. As lagoas fotossintéticas podem ser primárias (quando recebem diretamente o esgoto bruto) ou secundárias (quando recebem efluente de outra lagoa), ou ainda terciária (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001).

Na Tabela 3.1 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens de processos de tratamento de esgotos por meio de lagoa facultativa.

Tabela 3.1 - Vantagens e desvantagens do processo de tratamento de esgoto por lagoa facultativa

| Vantagens | Desvantagens |
|--|--|
| Satisfatória eficiência na remoção de DBO | Elevados requisitos de áreas |
| Eficiência na remoção de patogênicos | Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos |
| Construção, operação e manutenção simples | A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (crescimento da vegetação) |
| Reduzidos custos de implantação e operação | Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos |
| Satisfatória resistência a variações de carga | Performance variável com as condições climáticas (temperatura e insolação) |
| Remoção de lodo necessário apenas após períodos superiores a 20 anos | Possibilidade do crescimento de insetos |

Fonte: VON SPERLING (2005).

VERONEZ (2009) considera que apesar das lagoas facultativas apresentarem uma eficiência satisfatória, em alguns casos, esse tipo de tratamento não atende a padrões de lançamento mais restritivos, fazendo-se necessário a implantação de sistemas de pós-tratamento. Nesse contexto, o reúso em irrigação de culturas agrícolas, seria uma alternativa viável, onde o sistema solo-planta absorve os nutrientes presentes nos esgotos, realizando a depuração dos poluentes e fornecendo condições para o desenvolvimento da planta.

3.1.2 Lagoas Anaeróbias

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento de efluentes. Um processo em que, a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial, o que é alcançado pelo lançamento de altas cargas de DBO por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja sempre superior à taxa de produção. A estabilização em condições anaeróbias é lenta, devido à baixa taxa de reprodução das bactérias anaeróbias. A temperatura do meio causa

grande influência nas taxas de reprodução e estabilização, fazendo com que locais com temperatura elevada, o que é o caso do Brasil, se tornem propícios a esses tipos de lagoas (BURBARELLI, 2004).

De acordo com BRASIL (1999), as lagoas anaeróbias tem a finalidade de oxidar compostos orgânicos complexos antes do tratamento com lagoas facultativas ou aeradas. Não dependendo da ação da fotossíntese das algas, podem assim serem mais profundas do que as demais lagoas.

Um sistema de lagoa anaeróbia constitui um dos processos mais simplificados para o tratamento de esgotos, os quais predominam um ambiente anaeróbio. A condição de falta de oxigênio é alcançada facilmente, graças ao lançamento de elevadas cargas de DBO, que se sobrepõe às taxas de produção de oxigênio. A baixa taxa de reprodução das bactérias anaeróbias faz com que a estabilização da matéria orgânica torna-se lenta e, uma temperatura ambiente média perto dos 22º C favorece essa taxa, viabilizando a utilização de lagoas anaeróbias em países tropicais como o Brasil (CINTRA FILHO, 2008).

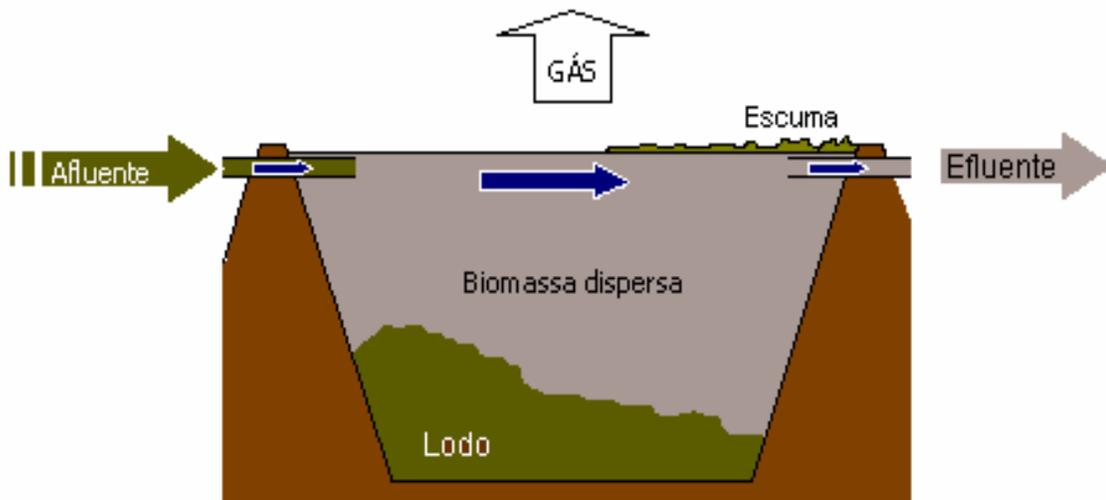
Muito utilizadas no Brasil, as condições anaeróbias ocorrem no fundo da lagoa, de difícil acesso aos raios solares, fazendo com que a construção da lagoa anaeróbia seja mais funda do que a lagoa facultativa, requerendo menos área. Seu tempo de detenção hidráulica é menor e sua eficiência, com relação à remoção de carga orgânica, também é menor, necessitando de um tratamento complementar para atender às exigências ambientais.

As lagoas anaeróbias são escavações mais profundas, com altura útil na faixa de 3 a 5 metros, que retém esgotos durante 4 a 6 dias. Nestas condições, é garantido a anaerobiose, uma vez que a penetração da luz solar e a sobrevivência das algas só são possíveis de forma bastante limitada e em apenas uma estreita camada superficial. De outro lado, a taxa de aplicação de matéria orgânica é forçada, o que provoca um rápido esgotamento do oxigênio que, porventura, esteja presente nos esgotos afluentes. No

caso do Brasil, devido às condições de temperatura, ocorrem eficiências na remoção da DBO₅ dos esgotos da ordem de 40 a 60 % (VON SPERLING, 2002).

Na figura 3.3 é apresentado um esquema de lagoa anaeróbia.

Figura 3.3 - Esquema de lagoa anaeróbia convencional



Fonte: CERQUEIRA (2004).

De acordo com CAMPOS *et al.* (1999), nas lagoas anaeróbias o tempo de detenção hidráulico varia de 1 a 6 dias, a carga orgânica volumétrica fica entre 0,1 e 0,3 kg DBO.(m³.dia)⁻¹, a profundidade de 2,0 a 5,0 m, e a eficiência de remoção de DBO é de 50 a 60%. As lagoas anaeróbias assemelham-se um reatores de grandes dimensões, cujo objetivo é diminuir ao máximo a presença de oxigênio, para que a estabilização da matéria orgânica ocorra em condições anaeróbias. Nela ocorrem, principalmente, os fenômenos de digestão ácida e fermentação metanogênica.

A fermentação anaeróbica é um processo sequencial no qual os micro-organismos facultativos, na ausência de oxigênio dissolvido, transformam compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, principalmente ácidos orgânicos. Esta primeira fase é chamada de digestão ácida, onde ocorre a produção de material celular e de compostos intermediários mal-cheirosos. O pH cai para 6,0 e até 5,0. Na

fase seguinte, as bactérias formadoras de metano, transformam os ácidos orgânicos, formados na fase inicial, em metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Nesta fase, chamada de fermentação metânica ou alcalina, o pH sobe para 7,2 ou até 7,5 e os maus odores desaparecem (CAMPOS *et al.*, 1999).

Com todos estes processos ocorrendo no interior da lagoa anaeróbia, vai ficando em seu fundo um lodo remanescente bioestabilizado, enchendo a lagoa durante os anos até o final de seu tempo de vida útil, diminuindo a área e conseqüentemente sua eficiência, ou até exigir uma intervenção humana (limpeza).

Nos sistemas aeróbios ocorre somente cerca de 40 a 50 % de degradação biológica, com conseqüente conversão em gás carbônico (CO₂). Constata-se grande incorporação de matéria orgânica como biomassa microbiana (cerca de 30 a 40 %), que vem a constituir um excelente lodo do sistema. Já nos sistemas anaeróbios pode-se verificar que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em metano (50 a 70%), removido na fase líquida e sai do reator na fase gasosa. Uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (de 5 a 15 %), constituindo um excelente lodo do sistema anaeróbio. O material não convertido em biogás ou biomassa sai do reator como material não degradado (CHERNICHARO, 2007).

A estabilização anaeróbia é um processo biológico que se desenvolve à partir de diferentes tipos de micro-organismos que, na ausência de oxigênio molecular, promovem a transformação de compostos orgânicos complexos (lipídeos, proteínas e carboidratos) em produtos mais simples como metano e gás carbônico. Isso ocorre através da ação de grupos específicos de bactérias heterotróficas que realizam esta conversão em seus processos metabólicos, sendo cada grupo de bactérias responsável por uma das quatro etapas do processo de estabilização anaeróbia, que são hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CAMPOS *et al.*, 1999).

A seguir, expõe-se a caracterização de cada uma dessas etapas (CAMPOS *et al.*, 1999):

Hidrólise – Ocorre uma lenta conversão de materiais particulados complexos em compostos dissolvidos de menor peso molecular.

Acidogênese - Os compostos dissolvidos vindos da hidrólise são, após a acidogênese, transformadas em substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido láctico e compostos minerais como gás carbônico, hidrogênio, amônia, gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio (que traz mau cheiro), etc.

Acetogênese - É a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. É nesta fase que os produtos gerados na acidogênese são oxidados e convertidos a hidrogênio, gás carbônico e acetatos.

Metanogênese - É a etapa final da degradação anaeróbia dos compostos orgânicos, transformados pelas bactérias metanogênicas em biogás composto basicamente por metano e dióxido de carbono. O metano é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução de dióxido de carbono.

Na Tabela 3.2 estão resumidas as vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios.

Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios

| Vantagens | Desvantagens |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;• Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos;• Baixa demanda de área;• Baixos custos de implantação, da ordem de R\$ 20 a 40 <i>per capita</i>;• Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico;• Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;• Tolerância a elevadas cargas orgânicas;• Aplicabilidade em pequena e grande escala;• Baixo consumo de nutrientes. | <ul style="list-style-type: none">• As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos;• A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado;• Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;• A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas;• Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis;• Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;• Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória. |

Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007).

3.1.3 Sistema Australiano

Basicamente o sistema australiano é composto por uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa. Esta é uma das melhores soluções técnicas que existem e uma das mais econômicas, quando se tem a área necessária.

Na Austrália, no Brasil e em alguns outros países, existem processos de tratamento no qual o esgoto é lançado diretamente em uma lagoa de maior profundidade, de volume reduzido, onde permanece por um tempo de detenção relativamente curto (em torno de 5 dias), dando origem, assim, a condições anaeróbias, antes de ser lançado na lagoa facultativa. Além de remover o material em suspensão que sedimenta na lagoa, há uma grande redução de DBO graças às condições anaeróbias que ali se verifica (BORRELY, 1995).

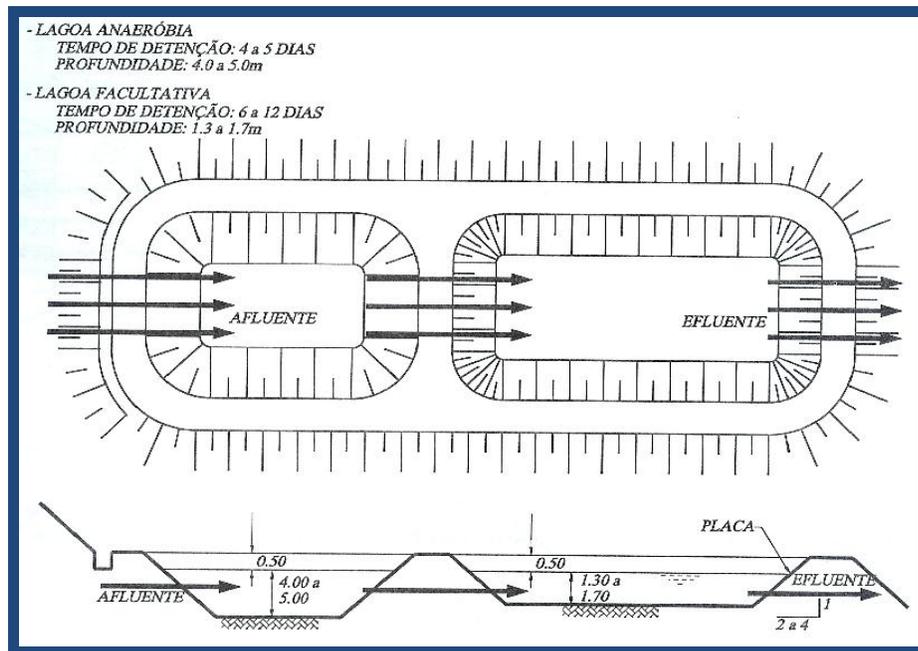
Nas lagoas anaeróbias, o tratamento não depende da irradiação solar, não necessitando de grande superfície exposta. Por isso, tais lagoas podem ser mais profundas que as aeróbias, com profundidade de 1,5 a 2,0 m, ideal para a produção metanogênica. Neste processo de depuração dos esgotos são formados gás carbônico e metano que se desprendem sob forma de bolhas, promovendo uma certa agitação e mantendo partículas em suspensão. Por este motivo e, por não conter o seu efluente uma quantidade satisfatória de oxigênio dissolvido, o sistema não pode dispensar a fase seguinte, em lagoa aeróbia (BRANCO, 1978).

De acordo com RUTKOWSKI *et al.* (2005), as lagoas anaeróbias são normalmente profundas, variando entre 4 a 5 metros, com a finalidade de impedir que o oxigênio produzido pela camada superficial seja transmitido às camadas inferiores. É lançada uma boa quantidade de efluente por unidade de volume da lagoa para garantir as condições de anaerobiose e, com isto, o consumo de oxigênio será superior ao repostado pelas camadas superficiais. O oxigênio produzido pelas algas e o proveniente da reaeração atmosférica são considerados desprezíveis, devido ao pequeno tamanho da lagoa comparada com a sua profundidade. Neste sistema anaeróbio, é gerado subprodutos de alto poder energético (biogás) proveniente da decomposição da matéria orgânica e, comparando com o sistema aeróbio, a disponibilidade de energia para a reprodução e metabolismo das bactérias é menor.

A DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única (VON SPERLING, 1996).

A Figura 3.4 apresenta o esquema do sistema australiano: lagoa anaeróbia (tempo de detenção de 4 a 5 dias e profundidade de 4 a 5 metros) seguida de lagoa facultativa (tempo de detenção 6 a 12 dias e profundidade de 1,3 a 1,7 metros).

Figura 3.4 - Esquema de Sistema Australiano



Fonte: CARMO JÚNIOR [2010?]

A relação ideal da área da lagoa anaeróbica para a da aeróbia é a de um para cinco (BRANCO, 1978). Já VON SPERLING (1996), comenta que se obtém uma economia de área total da ordem de 1/3, comparando a uma lagoa facultativa única.

Podem-se observar na Tabela 3.3, os parâmetros de projetos e áreas necessárias por habitante no tratamento de esgotos comparando-se o sistema australiano (lagoa anaeróbica seguida de lagoa facultativa) com o sistema por lagoa facultativa unicelular.

Tabela 3.3 - Parâmetros de projetos e áreas necessárias por habitante no tratamento de esgotos utilizando lagoas de estabilização

| Parâmetros de projeto | Sistema Australiano | | Lagoa Facultativa Unicelular |
|--|-------------------------------------|-----------|------------------------------|
| | Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa | | |
| Profundidade (m) | 2,5 – 4,0 | 1,5 – 2,0 | 1,0 – 2,0 |
| Tempo de detenção (dias) | 3 - 7 | 15 - 20 | 15 – 20 |
| Remoção de matéria orgânica (% remoção de DBO ₅) | 50 - 70 | 70 - 90 | 80 – 90 |
| Taxas de aplicação de esgotos (kg DBO/ha.dia) | 1500 - 2000 | 170 | 250 |
| Área necessária (m ² /hab) | 0,20 – 0,33 | 1,47 * | 2,00 |

*Considerando-se 50% de remoção de DBO na lagoa anaeróbia

Fonte: Adaptado de GASI *et al.* (1988).

Após estas considerações e definições, é necessário salientar as características principais dos processos de tratamento por lagoas de estabilização, conforme tabela 3.4 que cita as faixas de eficiências de remoção, de constituintes físico-químicos, organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização.

Tabela 3.4 - Faixas de eficiências de remoção (%), de constituintes físico-químicos, organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização

| Parâmetro | Lagoa facultativa | Lagoas anaeróbia + facultativa | Lagoas facultativa + maturação | Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| DBO ₅ ²⁰ | 75 - 85 | 75 - 85 | 80 - 85 | 80 - 85 |
| DQO Total | 65 - 80 | 65 - 80 | 70 - 83 | 70 - 83 |
| SS | 70 - 80 | 70 - 80 | 70 - 80 | 70 - 80 |
| Amônia | < 50 | < 50 | 40 - 80 | 40 - 80 |
| Nitrogênio | < 60 | < 60 | 40 - 65 | 40 - 70 |
| Fósforo | < 35 | < 35 | > 40 | > 40 |
| Coliformes | 1 - 2 log* | 1 - 2 log | 3 - 6 log | 3 - 6 log |
| Bactérias patogênicas | 1 - 2 log | 1 - 2 log | 3 - 6 log | 3 - 6 log |
| Vírus | ≤ 1 log | ≈ 1 log | 2- 4 log | 2- 4 log |
| Cistos de protozoários | ≈ 100% | ≈ 100% | 100% | 100% |
| Ovos de helmintos | ≈ 100% | ≈ 100% | 100% | 100% |

* 1 log = 90 %; 2 log = 99 %; 3 log = 99,9 %; 4 log = 99,99 %; 5 log = 99,999 %; 6 log = 99,9999 %

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2002).

3.2 LODO DE LAGOAS DE ESGOTOS

3.2.1 Geração e Produção

O lodo de esgotos são os sólidos gerados pelos processos de tratamento de esgotos e que necessitam de uma disposição adequada. Mesmo que tenha mais de 95% de água, por separação e distinguindo-se do efluente a ser tratado, é denominado lodo ou biossólido.

CORAUCCI FILHO *et al.* (1997) comentam que o lodo de águas residuárias é resultante da remoção dos sedimentáveis (lodo primário) e dos flocos biológicos (lodo

secundário). Trata-se de um líquido mais concentrado em resíduos sólidos que o esgoto bruto. Cita também que o lodo em sua constituição, apresenta matéria orgânica em diferentes estágios de degradação e tem sido aplicado no solo com a finalidade de tratamento e/ou disposição, apresentando resultados satisfatórios.

GONÇALVES *et al.* (1999) denominam lodo ao material que se deposita no fundo das lagoas de estabilização ao longo dos anos de funcionamento, sendo constituído por compostos inorgânicos, compostos orgânicos aportados pelo esgoto, micro-organismos, e sub-produtos da atividade dos micro-organismos.

Também conhecido como biossólido ou resíduos, é uma substância rica em material orgânico e em nutrientes. Durante mais de 10 a 15 anos na vida de uma lagoa, o volume de lodo se acumulará até que atinja um nível de ser removido (SHEFFIELD *et al.*, 2000).

A acumulação de lodo em lagoas facultativas primárias ou anaeróbias não ocorre de forma homogênea no tempo e no espaço. A taxa de acumulação de lodos é influenciada por fatores tais como as características do esgoto, o período de tempo em operação, a eficiência do pré-tratamento, o posicionamento dos dispositivos de entrada e saída, as características geométricas da lagoa, as taxas de carregamento orgânico e hidráulico, entre outros (GONÇALVES *et al.*, 1999).

Na digestão anaeróbia encontra-se o lodo formado da parte não biodegradável e particulada denominado de lodo inerte e o lodo formado pela massa bacteriana denominado lodo biológico. Com relação ao lodo biológico, MANZOCHI (2008) comenta que as bactérias estão presentes em maior quantidade, mas outros tipos de micro-organismos (vírus, protozoários, rotíferos e ciliados) podem ser encontrados. Quando as bactérias utilizam o material orgânico como fonte de energia, este passa a ser transformado em massa celular. A natureza dos produtos estabilizados depende do tipo de bactéria e do ambiente que prevalece no processo de tratamento e, a transformação do material orgânico em produtos dá-se o nome de catabolismo ou dissimulação.

A estabilização do lodo é importante pois reduz a quantidade de organismos patogênicos, além de eliminar maus odores e o potencial de putrefação. Segundo ALÉM SOBRINHO *et al.* (2001), os meios para atingir a estabilização são: redução biológica do conteúdo de sólidos voláteis, a oxidação química da matéria orgânica, a adição de produtos químicos no lodo de modo a impedir a sobrevivência dos micro-organismos e a aplicação de calor junto ao lodo. As tecnologias mais empregadas são: a estabilização por cal, a digestão anaeróbia (a mais comum, uma das mais antigas utilizadas e objeto deste estudo), a digestão aeróbia e a compostagem.

De acordo com REAMI (2011), dependendo do uso a ser feito do lodo que será retirado da estação de tratamento de esgotos, outras etapas de tratamento podem ser necessárias, como a sua desinfecção para aplicação em solo agrícola. Comenta também que o objetivo da desidratação final é a remoção de água de forma a atingir teores de sólidos superiores a 20%, reduzindo-se assim drasticamente o volume de lodo a ser transportado e compatibilizando-o com aplicações tais como disposição em aterros ou na agricultura.

O nitrogênio e o fósforo podem ser removidos do esgoto na ETE por via biológica. A remoção de nitrogênio se dá pela nitrificação/desnitrificação e a remoção de fósforo se dá pela sua incorporação à massa de lodo (sistema australiano), o que indica a necessidade de matéria orgânica no esgoto afluente para uma boa produção de lodo, conseqüentemente, boa remoção de fósforo, com concentração total no efluente inferior a 1 mg/l (com fósforo solúvel inferior a 0,2 mg/l).

CHERNICHARO (1997) comenta sobre o nitrogênio, o fósforo e o enxofre. Geralmente o nitrogênio é o nutriente inorgânico requerido em maiores concentrações para o crescimento dos micro-organismos. A incorporação de fósforo na digestão anaeróbia é de aproximadamente 1/5 a 1/7 daquela estabelecida para o nitrogênio, onde a maioria dos micro-organismos são capazes de utilizar o ortofosfato inorgânico (pode ser incorporado pelas células em crescimento), pela mediação de enzimas, denominado fosfatase. No caso do enxofre, a maioria das bactérias metanogênicas

utilizam o sulfeto como fonte de enxofre, sendo necessário para a síntese de proteínas. A concentração de sulfato nos esgotos domésticos é, em geral, suficiente para prover o enxofre necessário ao crescimento bacteriano.

Além das macromoléculas das células microbianas normalmente constituída de nitrogênio, fósforo, enxofre, carbono e oxigênio, destacam-se os micronutrientes necessários ao processo da digestão anaeróbia, compreendendo as micromoléculas das células, responsáveis por cerca de 4% do peso seco das células. O ferro, o cobalto, o níquel e o molibdênio são os principais micronutrientes requeridos pelas bactérias que formam o metano a partir do acetato (CHERNICHARO, 1997).

3.2.2 Gerenciamento de lodos em Lagoas Anaeróbias

A retirada de lodo de lagoas anaeróbias é em geral superior a cinco anos, permitindo uma grande mineralização do mesmo. O lodo acumulado nas lagoas anaeróbias é inferior a 5 kg sólidos/hab./ano (base seca) e o volume de lodo nas lagoas é estimado na faixa de 25 a 40 l/hab.ano (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001).

A Tabela 3.5 apresenta informações para o bom gerenciamento de lodos em lagoas de estabilização comparando as taxas, concentrações, intervalos e outros itens importantes entre as lagoas anaeróbias, lagoas facultativas primárias, lagoas facultativas secundárias e lagoas de maturação.

Tabela 3.5 - Gerenciamento do lodo em lagoas de estabilização

| Parâmetro de projeto | Lagoas anaeróbias | Lagoas facultativas primárias | Lagoas facultativas secundárias | Lagoas de maturação |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Taxa de acúmulo de lodo (m ³ /hab.ano) | 0,02 - 0,10 | 0,03 - 0,09 | 0,03 - 0,05 | - |
| Intervalo de remoção (anos) | < 7 | > 15 | > 20 | > 20 |
| Concentração de sólidos totais no lodo (% ST) | > 10% (d) | > 10% (d) | > 10% (d) | - |
| Relação SV/ST | < 50% | < 50% | < 50% | - |
| Concentrações de coliformes no lodo (CF/gST) | 10 ² - 10 ⁴ |
| Concentração de ovos de helmintos no lodo (ovos/gST) | 10 ¹ - 10 ³ |
| Tratamento adicional requerido | Secagem (a) | Secagem (a) | Secagem (b) | - |
| Formas de disposição final | (c) | (c) | (c) | - |

(a) No caso de lagoas de polimento, devem-se acrescentar ainda os valores correspondentes ao lodo retirado do reator UASB.

(b) Higienização (usualmente adição de cal) no caso de disposição para reúso agrícola do lodo.

(c) Formas de disposição final similares aos lodos dos demais sistemas de tratamento biológico de esgotos (reúso agrícola, aterro, outros).

(d) Ao ser removido por drenagem hidráulica (bombeamento), a concentração pode reduzir a 5% a 7%

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2002).

ALVES (2006) apresenta resultados obtidos numa investigação experimental realizada na Lagoa anaeróbia profunda do Roger, na Grande João Pessoa/PB, no período de março a novembro de 2005 (profundidade de 8 metros, área de 10.590,63 m², volume útil de 84.725 m³, vazão média estimada de 25.890 m³/dia, TDH médio real de 2,76 dias e iniciou sua operação em outubro/2000), que teve como objetivo estudar a evolução da camada de lodo da lagoa anaeróbia, bem como, estimar o volume de lodo acumulado na lagoa e determinar a estabilidade do lodo acumulado. Para atender a esses objetivos foi realizado um levantamento batimétrico e o desempenho da lagoa foi inferior ao observado em estudos realizados em 2003, sendo que as eficiências de remoção de DBO₅ (67,67%), DQO (60,79%) e SS (70,98%) foram reduzidas para 53,64%; 7,12% e 37,7% respectivamente. A camada de lodo ocupa uma lâmina média

de 1,82 m e um volume estimado em 14.122,82 m³, correspondente a 16,7% da capacidade útil do reator.

Ficou evidenciada uma maior quantidade de material flutuante na superfície da lagoa e uma maior quantidade de sólidos em suspensão no efluente final e, a partir desta investigação, foi observado que a diminuição da eficiência da lagoa parece estar associada ao aumento progressivo da camada de lodo e o consequente arrastamento de sólidos. A partir deste trabalho, torna-se evidente que, para a recuperação da eficiência da lagoa anaeróbia, são necessárias providências imediatas para a remoção, tratamento e disposição do lodo acumulado (ALVES, 2006).

Na figura 3.5 é apresentado o dispositivo de entrada da lagoa anaeróbia profunda do Roger antes do início de funcionamento, desenvolvida a partir de uma pedreira de exploração de calcário desativada.

Figura 3.5 - Dispositivo de entrada da lagoa anaeróbia do Roger antes do início do funcionamento – João Pessoa/PB



Fonte: ALVES (2006).

GONÇALVES *et al.* (1998) identificaram algumas técnicas em uso, que podem ser utilizadas baseando-se no esvaziamento ou não da lagoa. Das técnicas que exigem a interrupção do funcionamento das lagoas temos: tubulação de descarga hidráulica (podem ocasionar entupimentos e perda de função deste dispositivo); bombeamento; uso de tratores (avaliar o acesso da máquina, a estabilidade do talude e do selo de argila do fundo e, não entrar enquanto o lodo não apresentar consistência de torta = $ST > 30\%$) e; remoção manual, como a apresentada na Figura 3.6 (viável para pequenas ETE's).

Figura 3.6 – Remoção manual do lodo de lagoa anaeróbia - Vitória (ES)



Fonte: GONÇALVES *et al.* (1999).

SHEFFIELD *et al.* (2000) mencionam que, com relação à gestão de lodo, bem como, em relação aos procedimentos de encerramento de lagoas anaeróbias, existem várias opções para a remoção destes lodos. Também descreve os procedimentos que devem ser seguidos corretamente se "fechar" uma lagoa ou tirá-la de operação. A

remoção deve ser parte da gestão de qualquer lagoa anaeróbia e as seguintes sugestões irão ajudar os produtores e técnicos a gerenciar os lodos provenientes dessas instalações:

1. Identificar e utilizar práticas que minimizem o acúmulo de lodo (bacias de sedimentação e separadores mecânicos podem reduzir substancialmente o acúmulo de lodo em uma lagoa);
2. Identificar o momento ideal no qual o lodo acumulado deve ser bombeado ou removido (porcentagem de sólidos ideal);
3. Monitorar a quantidade de lodo em relação ao momento ideal de remoção;
4. Não remover todo o lodo acumulado. O lodo representa a porção biologicamente ativa da lagoa com uma significativa população de bactérias anaeróbias para o processo;
5. Proteger a integridade do revestimento do talude e do fundo. A integridade pode ser comprometida pelas agitações agressivas e a agitação/uso de pás-carregadeiras ou retroescavadeiras para a remoção de sólidos. As bombas são muito eficientes para a remoção de lodo; no entanto, cuidados especiais devem ser tomados para evitar lavagem das paredes da lagoa quando se utiliza a recirculação bocal;
6. Aplicar o lodo em terras de cultivo em taxas agronômicas. Lodos e sólidos têm quantidades significativas de nutrientes, especialmente de fósforo e metais, tais como cobre e zinco;
7. Limitar a produção de odor durante a aplicação do lodo da terra. Dependendo da idade e condição da lagoa, o lodo pode ou não liberar odor significativo durante aplicação no solo. Incorporação imediata é o método de aplicação no solo preferido para minimizar o odor. Se a aplicação de superfície ou de irrigação for usada, considerar cuidadosamente a direção do vento, hora do dia e os efeitos potenciais sobre vizinhos ao programar a remoção do lodo. Os odores dissipam

mais rapidamente ao meio-dia, em dias quentes e ensolarados. Evitar pedidos à noite ou em dias de pouco ou nenhum vento.

De acordo com GONÇALVES *et al.* (1998), foi realizado um estudo sobre a desidratação de lodo de lagoas anaeróbias dos sistemas Eldorado (vazão média de entrada de 43 l/s) e Feu Rosa (vazão de 5 l/s), situados na região da Grande Vitória – Espírito Santo - Brasil, que possuem características semelhantes. As duas ETE's são constituídas com base no sistema australiano e nunca tinha sido retirado o lodo das lagoas. Foram testados lodos em seis leitos de secagem, submetidos a diferentes taxas de aplicação, superiores às recomendadas pela norma técnica brasileira para projeto de leitos de secagem, em função do elevado teor de sólidos presentes no lodo.

Neste estudo, o aparato experimental era composto de 6 unidades de leitos de secagem em escala piloto. A retirada do lodo foi realizada com o auxílio de draga, para a lagoa de Eldorado, em pleno funcionamento e, na Lagoa de Feu Rosa, a entrada foi interrompida e a retirada do lodo foi realizada com auxílio de um balde. Foi registrada, diariamente, a altura da camada de lodo residual, utilizando uma régua limnimétrica. Para a extração das amostras no leito de secagem foi utilizado um tubo de PVC de diâmetro 40mm com êmbolo tipo pistão. Com relação às características do lodo, foram analisadas amostras da superfície do lodo, amostras estratificadas considerando diferentes alturas, e amostras compostas compreendendo toda a coluna de lodo. Através de vasta pesquisa bibliográfica, constatou-se a grande escassez de dados sobre a desidratação de lodos de lagoas neste tipo de processo (GONÇALVES *et al.*, 1998).

Na Tabela 3.6 verificam-se as características do lodo da lagoa anaeróbia de Eldorado, por tipo de amostra e com relação a alguns parâmetros como sólidos, pH, DQO e Coliformes totais.

Tabela 3.6 - Principais características do lodo da lagoa anaeróbia de Eldorado – Vitória/ES nas diversas profundidades

| TIPO DE AMOSTRA | PARÂMETROS | | | | | |
|------------------------------|--------------------|----------------------|-----|----------------------|----------------------|--|
| | Sólidos Totais (%) | Sólidos Voláteis (%) | pH | DQO (mg/g) peso seco | NTK (mg/g) peso seco | Coliformes Totais (NMP/100g) base peso úmido |
| Superfície (draga) | 10,7 | 40,3 | 7,2 | 578 | 21,0 | - |
| Estratificada | | | | | | |
| 0 – 20 cm | 22,5 | 35,9 | 7,9 | 590 | 19,8 | - |
| 40 – 60 cm | 18,7 | 36,9 | 8,1 | 589 | 18,7 | - |
| 80 – 100 cm | 13,0 | 44,9 | 7,9 | 690 | 23,2 | - |
| 120 – 140 cm | 12,5 | 41,8 | 7,9 | 672 | 21,9 | - |
| Composta | 18,3 | 37,2 | 7,5 | 537 | 19,0 | 1,7 x 10 ³ |

Nota: Para o referencial da amostra estratificada foi considerado o fundo da lagoa.

Fonte: GONÇALVES *et al.* (1998).

De acordo com ALVES (2006), a taxa de acumulação de lodo nas lagoas anaeróbias não ocorre de forma homogênea e é influenciada por fatores como características do esgoto, tempo de operação do reator, eficiência do pré-tratamento, posição dos dispositivos de entrada e saída, características geométricas da lagoa e cargas orgânica e hidráulica aplicadas.

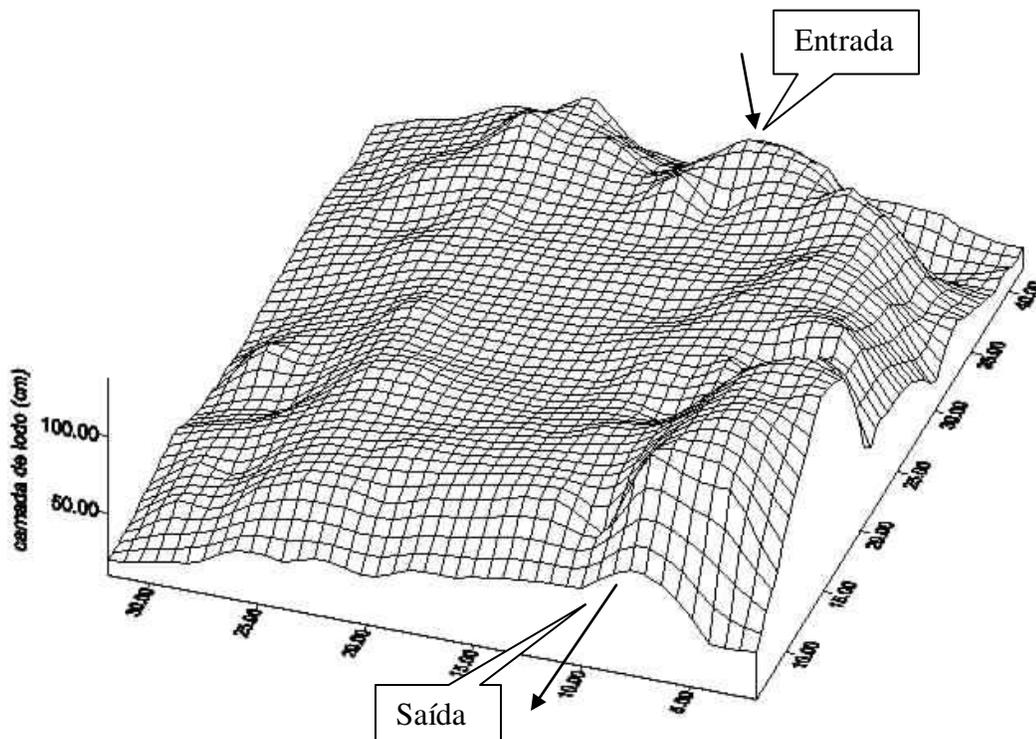
Um estudo realizado na Estação de Tratamento Maringá (município de Serra/ES), com vazão de 4 l/s, composta no sistema australiano, que teve como objetivo avaliar o comportamento da lagoa anaeróbia como unidade responsável pelo adensamento e digestão do lodo gerado em tratamento terciário físico-químico do efluente de lagoas facultativas, teve como algumas de suas conclusões que (TAVEIRA *et al.*, 2001):

- A caracterização físico-químico-bacteriológica do lodo da lagoa anaeróbia no início do experimento não apresentou resultados muito diferentes dos encontrados em caracterizações em outras lagoas anaeróbias operando no Estado;

- Os resultados obtidos demonstram uma elevada inviabilização dos ovos de helmintos no interior da lagoa anaeróbia, atingindo valores de 98% de redução do número de ovos viáveis;
- Os resultados obtidos indicam uma produção *per capita* de 0,0648 m³/hab.ano, sendo 0,0313 m³/hab.ano para o lodo produzido na lagoa anaeróbia e 0,0335 m³/hab.ano para o lodo gerado na recirculação, o que representou um acréscimo de 107% na produção de lodo na lagoa anaeróbia;
- A taxa anual média de acúmulo de lodo, calculada com base nas determinações da altura da camada de lodo em todas as seções batimétricas, foi de 10,2 cm/ano ou 0,0519 m³/hab.ano.

Conforme realização de batimetria, verifica-se no escopo da Figura 3.7, a distribuição das camadas de lodos da lagoa anaeróbia da ETE Maringá (Serra/ES).

Figura 3.7 - Distribuição da camada de lodos na Lagoa Anaeróbia da ETE Maringá



Fonte: Adaptado de GONÇALVES *et al.* (1999).

Cita ALVES (2006) que um grande problema causado pelo acúmulo do lodo nas lagoas anaeróbias vem a ser o afloramento da camada de lodo nos dispositivos de entrada ou de saída, que pode causar o surgimento de maus odores resultantes da digestão anaeróbia do lodo, o qual em contato direto com a atmosfera, pode ensejar o aparecimento e proliferação de vetores, particularmente insetos.

As placas de lodo acabam flotando e podem ser arrastadas junto com o efluente, diminuindo, assim, a eficiência do tratamento, gerando problemas para o corpo receptor ou para a unidade subsequente de tratamento. A ocupação de grande parte do volume da lagoa com lodo acarreta uma redução do tempo de detenção hidráulica, o que pode vir a determinar a diminuição do desempenho do reator (ALVES, 2006).

MALTA (2001) comenta sobre a disposição final adequada de lodos de ETE's para pequenas cidades, tendo como estudo de caso o município de Rio das Ostras - Rio de Janeiro, visando à elaboração de um plano diretor para disposição adequada de lodos de ETE's e priorizando a aplicação na agricultura. Foi elaborada uma extensa revisão dos trabalhos de pesquisa com lodo de esgoto aplicados na agricultura realizados no Brasil, com suporte na literatura internacional sobre o assunto, concluindo-se que lodo de esgoto é um "resíduo" que altera as propriedades físicas do solo, melhorando sua densidade, sua porosidade e sua capacidade de retenção de água, condicionando o solo para um melhor desenvolvimento das plantas. Este resíduo, após aplicado no solo, melhora seu nível de fertilidade. Por conter em sua constituição teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, promove o crescimento dos organismos do solo. Encerra na sua composição todos os nutrientes e elementos benéficos necessários para o desenvolvimento e produção de plantas. É um resíduo orgânico que encerra na sua composição os mesmos constituintes de outros resíduos orgânicos (matéria orgânica, nitrogênio e outros nutrientes das plantas), alguns dos quais já consagrados como fertilizantes orgânicos.

Além disso, componentes antinutricionais presentes no lodo de esgoto, caso dos metais pesados, também ocorrem em outros fertilizantes e corretivos do solo, caso

dos fertilizantes fosfatados, nitrogenados e do calcário, dentre outros, assim como no próprio material de origem do solo. Também no lodo não foi evidenciada a presença de ovos de helmintos. Todas estas conclusões levaram o autor a não ter dúvidas de que, manejado de forma adequada, o lodo de esgoto pode ser considerado um excelente fertilizante orgânico, não havendo pelo menos até o presente momento, informações que impeçam sua caracterização como tal, salvo algumas recomendações (MALTA, 2001).

Demais comentários sobre aplicação/disposição de lodo de esgotos serão encontrados no item 3.6 (Utilização na Agricultura).

3.2.3 Características de lodo de ETE's

Este item visa identificar se o volume de lodo das lagoas anaeróbias pode estar dentro dos limites dos lodos produzidos por outros processos de tratamento como, por exemplo, as fossas sépticas.

A produção de lodo pode variar de uma tecnologia para outra. Nestes termos, o melhor mesmo é gerar menos lodo (REAMI, 2011).

A contribuição do trabalho de REAMI (2011) proporcionou à tomada de decisão com maior segurança, na hora de se escolher a tecnologia de tratamento de esgotos adequada. Além dos custos unitários de operação e de manutenção, foram pesquisados critérios que podem ser levados em conta para o auxílio na decisão de uma determinada comunidade.

Nas ETE's clássicas, precedendo a tratamentos biológicos, são removidos os sólidos sedimentáveis por gravidade, processo denominado tratamento primário. Nos decantadores primários há uma remoção de 50 a 60% de SST e de 25 a 35% de remoção de DBO. O lodo primário é o esgoto sanitário com os materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão muito mais concentrados, sendo, portanto, mais agressivo do que o próprio esgoto (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001).

No tratamento primário avançado, também denominado tratamento físico-químico, utilizam-se coagulantes para formação de flocos, com uma remoção de SST acima de 75%, de DBO de 65% e de fósforo superior a 80%. O lodo resulta dos sólidos em suspensão superior a 90% e também apresenta sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão do esgoto, muito mais concentrados, sendo ainda mais agressivo do que o próprio esgoto, necessitando ser tratado, para estabilizar a matéria orgânica e diminuir o seu volume, visando permitir uma disposição adequada do lodo (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001).

Conforme comenta ALÉM SOBRINHO *et al.* (2001), no tratamento biológico, os micro-organismos utilizam a matéria orgânica em um reator biológico para obter energia para sua reprodução. Permanecendo sob a forma de flocos, devem ser separados do efluente final, para não deteriorar sua qualidade. As reações de respiração podem ser pela via aeróbia (utiliza o oxigênio dissolvido) ou anaeróbia (ausência de oxigênio dissolvido). O crescimento da massa microbiana pela utilização da matéria orgânica biodegradável é muito maior no processo aeróbio do que no anaeróbio, resultando numa maior produção de lodo nos sistemas sendo um ponto favorável para se utilizar processos anaeróbios; porém, a qualidade do lodo é inferior ao do processo aeróbio. Nestes processos biológicos, quanto maior a idade do lodo, menor será a produção de lodo no sistema.

Para os **tratamentos biológicos anaeróbios** mais utilizados no Brasil podem-se apresentar as estimativas de produção de lodo:

Fossas Sépticas: Normalmente precedem a filtros anaeróbios ou infiltração de efluente no terreno. Por terem remoção de lodo no máximo 1 vez por ano, devem ter um volume grande para armazenamento, o que limita sua aplicação a grandes populações (cerca de 500 a 1000 habitantes). A eficiência de remoção de DBO é de 35 a 50% e o lodo removido nos decanto-digestores é considerado razoavelmente estabilizado. A produção de lodo é de cerca de 5 a 7 kg SS/hab.ano (base em peso seco), ou cerca de 120 a 200 l/hab.ano (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001).

ANDREOLI *et al.* (2009) comentam que a eficiência dos tanques sépticos depende de fatores como carga orgânica, carga hidráulica, geometria, compartimentos e arranjo das câmaras, dispositivos de entrada e saída, temperatura e condições de operação. Calcula-se que a produção de lodo fresco no Brasil é de aproximadamente 43.000 m³ por dia. Se adicionarmos neste cálculo o volume de lodo produzido pelas fossas rudimentares, este valor sobe para 79.000 m³ por dia;

Reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*): Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo possui em sua câmara de reação uma manta de lodo com alta concentração de micro-organismos anaeróbios, que é atravessada pelos esgotos, em fluxo ascendente. Com uma faixa de remoção de DBO de 55% a 75%, o lodo produzido é considerado bioestabilizado, e sua produção é de cerca de 7 a 15 g SS/hab.dia (base peso seco) e é removido com teor de sólidos de 1,5% a 4%, podendo variar o volume de lodo removido do reator na faixa de 0,18 a 1,0 l lodo/hab.dia (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001);

Filtros anaeróbios (como pós-tratamento de decanto-digestores e de reatores UASB): Eram limitados a pequenas populações e hoje são utilizados após reatores UASB, para se garantir efluente final com DBO < 60 mg/l, mesmo para cidades com mais de 50.000 habitantes. O lodo produzido é considerado estabilizado e estima-se a produção de lodo de 3 g SS/hab.dia para unidades utilizadas após decanto digestores ou reatores UASB. Isso significa cerca de 0,1 a 0,2 l/hab.dia, porém, com remoção de lodo do filtro a cada 3-6 meses. Para o conjunto reator UASB seguido de filtro anaeróbio, é estimada uma produção média de 10 a 18 gSS.hab.dia (base seca), ou cerca de 0,25 a 1,2 l/hab.dia (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001);

Lagoas Anaeróbias e Facultativas: As taxas volumétricas de acumulação de lodos variam entre 0,08 l/hab.dia (para regiões de clima quente) e 0,4 l/hab.dia (para regiões de clima frio) em lagoas primárias (anaeróbias ou facultativas). O valor de produção “per capita” de lodos é muito pequeno, quando comparado a outros processos de tratamento biológico de esgotos sanitários (GONÇALVES, 1999).

Normalmente as lagoas anaeróbias precedem as lagoas facultativas e a retirada de lodo é superior a 5 anos. As lagoas anaeróbias apresentam remoção de DBO na faixa de 40 a 70% e tem o lodo acumulado inferior a 5 kg sólidos/hab.ano (base seca); além disso, o volume de lodo nas lagoas é estimado na faixa de 25 a 40 l/hab.ano (ALÉM SOBRINHO *et al.*, 2001).

As taxas de acúmulo de lodo (m^3 /hab.ano), o intervalo de remoção (em anos) e a concentração de sólidos totais no lodo das lagoas anaeróbias e facultativas estão apresentados na Tabela 3.5.

Para os tratamentos biológicos aeróbios clássicos tem-se como exemplo:

ETE convencional com lodos ativados:

O processo de lodos ativados convencional é composto das etapas de tratamento preliminar (gradeamento e desarenação), decantadores primários, tanques de aeração, decantadores secundários, adensadores de lodo, digestores de lodo e sistema de desidratação de lodo.

De acordo com CHERNICHARO (2001), os esgotos tratados apresentam DBO_5 e SS inferiores a 30 mg/l e nitrogênio amoniacal superior a 15 mg/l. O excesso de lodo produzido é de 35 a 40 g SS/hab.dia, devendo ser estabilizado à parte, aeróbia ou anaerobiamente.

Para processos com taxas mais altas, ALÉM SOBRINHO *et al.* (2001) apresentam os seguintes valores de produção:

- Lodo do decantador primário: 27 a 33 g SST/hab.dia ou 21 a 27 g SSV/hab.dia (base seca), 0,68 a 3,3 l/hab.dia e o lodo necessita de estabilização;
- Lodo apenas do sistema de lodo ativado: 28 a 32 g SST/hab.dia ou 21 a 26 g SSV/hab.dia (base seca), 3 a 10 l/hab.dia e o lodo necessita de estabilização;

- Lodo produzido na ETE, após tratamento do lodo com desaguamento para 25% de teor de sólidos: 35 a 40 g SST/hab.dia (base seca), 140 a 160 g lodo/hab.dia e lodo estabilizado.

ETE - Lodos ativados com aeração prolongada:

Com maiores tempos de residência celular, o excesso de lodo resultante é mais bem digerido. Neste processo não se empregam decantadores primários e o tratamento biológico é dimensionado de forma a produzir um excesso de lodo mais mineralizado, dispensando a necessidade de qualquer tipo de digestão complementar de lodo e, em troca, há a exigência de um volume de tanque de aeração cerca de 30% maior (REAMI, 2011).

A operação sob alta taxa ocorre com idade do lodo de 20 a 30 dias, com nitrificação dos esgotos. Os esgotos tratados apresentam DBO₅ inferior a 20 mg/l, SS inferior a 40 mg/l e nitrogênio amoniacal inferior a 5 mg/l. O excesso de lodo é da ordem de 40 a 45 g SS/hab.dia, que é estabilizado aerobiamente e é mais difícil de desidratar (CHERNICHARO, 2001).

ETE com lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação:

Lagoas aeradas mecanicamente podem ser entendidas como um processo de lodos ativados sem recirculação de lodo. As principais unidades destas ETE's são: tratamento preliminar (gradeamento e desarenação), lagoas aeradas mecanicamente seguidas de lagoas de decantação (REAMI, 2011).

Os esgotos tratados apresentam DBO₅ inferior a 30 mg/l, SS inferior a 40 mg/l e concentração de nitrogênio amoniacal superior a 25 mg/l. O excesso de lodo produzido é da ordem de 15 a 25 g SS/hab.dia, sendo estabilizado e removido entre 4 a 5 anos (CHERNICHARO, 2001).

ALÉM SOBRINHO *et al.* (2001), apresentam os seguintes valores de produção:

- Lodo produzido com remoção de lodo digerido a cada 4 ou 5 anos da lagoa de decantação: 5,4 a 9,0 kg SST/hab.ano (base seca), 270 a 600 l/hab.ano;
- Lodo removido desaguado para teor de sólidos de 25%: 21 a 36 kg lodo/hab.ano (base úmida), 21 a 36 l/hab.ano.

Para os tratamentos biológicos aeróbios precedidos de tratamento biológico anaeróbio, conforme ALÉM SOBRINHO *et al.* (2001) tem-se como exemplo:

ETE com reator UASB seguido de lagoa aerada aeróbia e de lagoas de decantação:

- Lodo produzido e removido do reator UASB: 7 A 15 g SST/hab.dia (base seca), 0,18 a 1,0 l/hab.dia;
- Lodo produzido na lagoa aerada/lagoa de decantação, com remoção de lodo digerido a cada 4-5 anos, da lagoa de decantação: 1,9 a 3,2 kg SST/hab.ano (base úmida), 90 a 200 l/hab.ano;
- Lodo removido do UASB e da lagoa de decantação, desaguado para teor de sólidos de 25% (valores médios anuais): 21 a 36 kg lodo/hab.ano (base úmida), 21 a 36 l/hab.ano.

Quando se relaciona os lodos de ETE's com a utilização de *bags* para a sua desidratação, pode-se perceber que, dependendo do tipo de lodo gerado, a capacidade de desaguamento do mesmo varia. À exemplo disto, BOINA (2011) cita que os lodos ativados são mais difíceis de serem desaguados do que os lodos primários digeridos anaerobiamente. A variação desta capacidade de desaguamento está relacionada diretamente com o tipo de sólido e com a forma com que a água está ligada às partículas de lodo (água adsorvida, água capilar, água celular, água livre).

Conforme se pode verificar na Tabela 3.7, em seu estudo com lodo de ETE por lodos ativados modificada (aeração prolongada) e utilizando 7 *bags* com idades operacionais diferentes, BOINA (2011) percebeu que o tempo de permanência no *bag*

não foi significativa no processo de desaguamento, podendo estar diretamente ligado ao tipo de lodo gerado na ETE.

Tabela 3.7 - Quantificação de sólidos em *bags* – ETE por lodo ativado

| <i>BAG</i> | Idade de operação | Quant. sólidos nas amostras (%) |
|------------|-------------------|---------------------------------|
| 1A | 36 meses | 15,08 |
| 1B | 35 meses | 13,35 |
| 10 | 21 meses | 10,74 |
| 11 | 19 meses | 12,14 |
| 18 | 10 meses | 11,89 |
| 21 | 6 meses | 12,89 |
| 24 | 1 mês | 11,21 |

Fonte: BOINA (2011).

3.3 MICRO-ORGANISMOS PATOGÊNICOS

Existe grande preocupação e cautela por parte dos ambientalistas com a transmissão de doenças provenientes dos esgotos. O risco de contaminação está relacionado ao fato de que o esgoto contém uma série de organismos patogênicos que são excretados juntamente com as fezes de indivíduos infectados (CHERNICHARO, 2001).

PEREIRA (2007), comenta que os intestinos dos homens e dos animais são portadores de organismos patogênicos (bactérias, vírus, protozoários e helmintos) transmissores de doenças. Muitos desses micro-organismos, após excretados com as fezes, podem vir a sobreviver no meio ambiente (água, lodo, esgoto, solo), podendo ter muitas formas de infecção. Alguns destes, podem até voltar ao organismo humano ou animal, penetrando pelo sistema respiratório ou através de escoriações na pele.

Estes micro-organismos patogênicos presentes no lodo de esgotos tornam-se um grande obstáculo na hora de se decidir fazer sua disposição final na agricultura.

É importante salientar que a grande maioria dos micro-organismos são benéficos ao homem sendo, como exemplo, o grupo dos coliformes, utilizados como indicadores da presença destes patógenos. Vale ressaltar também que os coliformes são indicadores da presença mas não da persistência de micro-organismos patogênicos. Neste sentido, VON SPERLING (1996) comenta que as bactérias do grupo coliforme são utilizadas como indicadores de contaminação fecal, ou seja, mostra se uma água foi contaminada por fezes e, se apresenta, em decorrência disto, como uma potencialidade para transmitir doenças.

De acordo com MADIGAN et al., (2004), as bactérias patogênicas de interesse em microbiologia sanitária são basicamente as de origem entérica. Alguns gêneros destes grupos de bactérias são patogênicos e/ou oportunistas, colonizando principalmente o trato gastrointestinal (MADIGAN *et al.*, 2004).

As bactérias, como a maioria dos organismos patogênicos, utilizam-se de diversos fatores de virulência para provocar doenças. Dentre alguns fatores que afetam o sistema imunológico podem-se citar a frequência de internações hospitalares, o uso indiscriminado de antimicrobianos, uso de fumo, ingestão de álcool, má nutrição, ausência de sono, etc. (MADIGAN et al., 2004).

Os coliformes e outros organismos de origem intestinal, quando expostos às condições ambientais que diferem das condições do corpo humano, apresentam uma mortalidade natural, caracterizando assim o chamado decaimento (VON SPERLING, 1996). Entre os fatores que contribuem para a mortalidade bacteriana, podem-se citar:

- ✓ Fatores físicos: luz solar (radiação ultravioleta), temperatura (a da água normalmente inferior a do corpo humano), adsorção, floculação e sedimentação;
- ✓ Fatores físico-químicos: efeitos osmóticos (salinidade), pH, toxicidade química e potencial redox;
- ✓ Fatores biológicos e bioquímicos: falta de nutrientes, predação e competição.

Historicamente, BRANCO (1978) comenta que os lodos resultantes do tratamento anaeróbio do esgoto, depois de secos, constituem matéria rica em coloides, além de conter certa proporção de substâncias nutrientes para vegetais e, portanto, úteis como adubo para a agricultura. O seu emprego com essa finalidade, contudo, envolve certas dificuldades decorrentes principalmente da presença, no lodo seco, de ovos de vermes parasitas (principalmente nematóides intestinais) além de formas de resistência de protozoários (tais como *Entamoeba histolytica*) e bactérias patogênicas, e também sementes de plantas daninhas à agricultura. Pesquisas de laboratório demonstraram que cistos de amebas bem como ovos de *Ascaris* e larvas de *Taenia saginata* não suportaram temperaturas superiores a 60 °C por mais de 5 minutos, enquanto que bactérias dos gêneros *Salmonella* e *Shigella* morreram quando submetidas a essa temperatura por espaço de tempo superior a 20 minutos, e enterovírus a 62 °C por 30 minutos ou 71 °C por 15 minutos.

Os organismos patogênicos de maior preocupação, quando o homem é exposto à ambientes contaminados com esgotos, são as bactérias e os vírus entéricos, além dos parasitas intestinais. Uma série destes organismos estão presentes em todos os esgotos domésticos, sendo que a sua transmissão para o homem pode ocorrer por (CHERNICHARO, 2001):

- ✓ Ingestão direta de água não tratada;
- ✓ Ingestão direta de água tratada. Nesse caso, pressupõe-se alguma falha no sistema de tratamento ou de distribuição de água;
- ✓ Ingestão de alimentos infectados com patógenos presentes em águas contaminadas;
- ✓ Penetração resultante do contato da pele com a água contaminada.

Cita MALTA (2001) que a contaminação do lodo está ligada ao material fecal existente no esgoto e, portanto, depende das características epidemiológicas da população e dos efluentes lançados na rede coletora. São encontrados nos esgotos

vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários e helmintos) e, embora a maioria destes organismos seja inofensiva, alguns grupos de patogênicos são considerados perigosos, pelo risco à saúde humana e animal.

Em termos de organismos patogênicos, podem-se verificar na tabela 3.8, as características biológicas típicas de esgotos domésticos.

Tabela 3.8 - Micro-organismos presentes nos esgotos domésticos brutos

| Micro-organismo | Contribuição per capita (org/hab.dia) | Concentração (org/100 ml) |
|----------------------------|--|--------------------------------------|
| Bactérias totais | 10^{12} à 10^{13} | 10^9 à 10^{10} |
| Coliformes totais | 10^9 à 10^{12} | 10^6 à 10^9 |
| Coliformes termotolerantes | 10^8 à 10^{11} | 10^5 à 10^8 |
| Streptococos fecais | 10^8 à 10^9 | 10^5 à 10^6 |
| Cistos de protozoários | $< 10^6$ | $< 10^3$ |
| Ovos de helmintos | $< 10^6$ | $< 10^3$ |
| Vírus | 10^5 à 10^7 | 10^2 à 10^4 |

Fonte: VON SPERLING (1996).

O conteúdo microbiológico das fezes é diluído nos esgotos que, mesmo assim, apresentam elevadas concentrações de micro-organismos (MALTA, 2001).

É bom lembrar que os organismos indicadores de contaminação, mais especificamente coliformes e streptococos fecais, são utilizados como parâmetros de monitoramento porque, além de fáceis de identificar, estão sempre presentes e em grandes quantidades nas fezes de origem humana e de outros animais de sangue quente. A presença destes torna-se um forte indicativo de que a água foi contaminada e deve, possivelmente, conter organismos patogênicos (CHERNICHARO, 2001).

Ao estarem nos esgotos e, por não estarem em seu meio ideal, estes micro-organismos apresentarão tendência ao decaimento. A própria ETE elimina muitos deles, fazendo com que haja uma diminuição significativa na concentração de patogênicos na fase líquida e migração para a fase sólida (lodo), devido ao poder de

adsorção dos flocos e ao peso específico mais alto de muitos micro-organismos, provocando sua sedimentação junto ao lodo (MALTA, 2001).

Pode-se observar na Tabela 3.9 a remoção de alguns patógenos durante o processo de tratamento de esgotos.

Tabela 3.9 - Porcentagem de redução, no esgoto, de alguns tipos de patogênicos, em alguns processos de tratamento de esgotos (%)

| Tratamento | Vírus | Bactérias | Cistos de | Ovos de |
|------------------------|-------------|-------------|--------------|-----------|
| | Entéricos | | Protozoários | helmintos |
| Decantação primária | 0 - 30 | 50 - 90 | 10 - 50 | 30 - 90 |
| Filtro biológico | 90 - 95 | 90 - 95 | 50 - 90 | 50 - 95 |
| Lodo ativado | 90 - 99 | 90 - 99 | 50 - 80 | 50 - 99 |
| Lagoa de estabilização | 99,99 - 100 | 99,99 - 100 | 100 | 100 |

Fonte: EPA (1983).

A presença nos esgotos de patógenos que contaminam a água ou o solo, não implica a sua imediata transmissão ou a infecção de novos indivíduos (PEREIRA, 2007).

Os helmintos e protozoários intestinais, durante sua fase parasitária, vivem no trato gastrointestinal do hospedeiro (homem ou animais) e seus ovos ou cistos são eliminados para o exterior junto com as fezes (SOCCOL *et al.*, 1999).

Helmintos ou vermes que parasitam o intestino humano caracterizam-se por apresentarem morfologias variadas e ciclos complexos de reprodução. A transmissão de doenças por estes parasitas ocorre por meio de diversas matérias contaminadas com ovos ou larvas eliminados com as fezes do indivíduo doente. Dependendo do ovo, ele pode amadurecer no solo em uma ou duas semanas, originando as formas

embrionárias infecciosas e, o ovo embrionário pode permanecer viável por meses e até anos em alimentos contaminados, solo e água (PEREIRA, 2007).

Conforme SOCCOL *et al.* (1999), o tempo de sobrevivência dos ovos de helmintos e cistos de protozoários no meio varia com a espécie, condições de temperatura ambiente, umidade, pH do solo, oxigênio e luz solar e este tempo pode variar de alguns meses a anos para os helmintos e de alguns dias para protozoários.

De acordo com SOCCOL (1998), estudos epidemiológicos têm demonstrado que ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias representam riscos à saúde humana. Estes riscos são devido aos seguintes aspectos:

- Ampla distribuição geográfica que os helmintos, protozoários e bactérias representam;
- Alta frequência de parasitismo na população, em diferentes partes do mundo;
- Grande tempo de sobrevivência no meio externo (ovos de *Ascaris sp* podem sobreviver até 7 anos);
- Dose infectante (Um ovo ou cisto é o suficiente para infectar o hospedeiro).

A via de infecção para ovos de helmintos e cistos de protozoários é a oral, pode-se ocorrer de forma direta ou indireta desde que os ovos ou cistos sejam viáveis. Quanto a dose infectante, apenas um ovo de helminto ou cisto de protozoário pode ser suficiente, contribuindo para infectar o hospedeiro (SOCCOL, 1998).

SOCCOL (1998) comenta que, dentre os parasitas patogênicos, *Taenia solium* é o que merece maior atenção, devido ao seu ciclo evolutivo estar associado ao homem (hospedeiro definitivo) e suínos (hospedeiro intermediário) e ser uma zoonose de alta incidência na América Latina.

No estudo que visava determinar a prevalência e a viabilidade de ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários presentes em lodo e em esgotos proveniente de 4

sistemas anaeróbios de tratamento que utilizam reatores anaeróbios de lodo fluidizado (RALF), na região metropolitana de Curitiba/PR, PAULINO et al. (2001) concluíram que a redução da viabilidade variou de 59,7% a 93%. Estas diferenças poderiam ser explicadas, pelo número de habitantes em cada região, pela situação sócio-econômica dos habitantes dos bairros onde estes RALF's estão situados e pelas condições operacionais dos mesmos. Isto pode ser observado quando comparados com os RALF's de regiões distintas do município.

A umidade, juntamente com a incidência solar e a temperatura, constituem importante fator limitante ao desenvolvimento fisiológico dos micro-organismos, pois o teor de água do meio pode modificar efeitos da temperatura sobre os organismos. Por isso, há que se verificar o comportamento destes organismos dentro dos *bags*, pois as condições podem ser desfavoráveis para a sua sobrevivência.

Em caso do uso de esgoto tratado na agricultura, PEREIRA (2007) menciona que, na avaliação do risco de contaminação, torna-se imperativo comparar o tempo de sobrevivência do patógeno com a duração do ciclo de crescimento do vegetal.

3.3.1 Aspectos de Saúde Pública

No Brasil, os órgãos de controle de vetores e endemias não veem as estações de tratamento de esgotos e a disposição adequada dos lodos de ETE's como um problema e sim como uma das alternativas eficazes de controle de vetores, minimizando sua quantidade ou eliminando os focos de contaminação. Porém, fica claro que uma estação de tratamento mal-operada ou uma disposição inadequada de lodos de esgotos podem se transformar em pontos de proliferação de vetores como, por exemplo, o *Culex* (no caso das ETE's), baratas e moscas (no caso de disposição de lodo), etc.

A atuação destes órgãos está ligada mais às medidas de controle de vetores, como nos seguintes: a) prevenção e eliminação de focos de contaminação e/ou

proliferação de vetores; b) forma de manuseio e transporte de esgotos/lodo; c) eliminação da possibilidade de contato humano; e d) utilização de equipamentos de proteção individual e coletiva, dentre outros.

O controle de vetores tem sua importância na medida em que se propicia (BARROS et al., 1995):

- Reduzir a mortalidade infantil;
- Reduzir a mortalidade e aumentar a vida média do homem;
- Prevenir doenças relacionadas aos vetores;
- Preservar as condições de conforto à vida do homem.

As doenças infecciosas relacionadas com esgotos, causadas por patógenos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos) mais comuns no meio rural e regiões em desenvolvimento podem ser divididas em grupos, conforme Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Principais doenças relacionadas com os dejetos

(continua)

| Grupos de doenças | Formas de transmissão | Principais doenças | Formas de prevenção |
|------------------------------|---|---|--|
| Feco-orais (não bacterianas) | Contato de pessoa a pessoa quando não se tem higiene pessoal adequada. O organismo patogênico (agente causador da doença) é ingerido. | <ul style="list-style-type: none"> • poliomielite; • hepatite tipo A; • giardíase; • disenteria amebiana; • diarreias por vírus. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ implantar sistema de abastecimento de água; ✓ melhorar moradias e instalações sanitárias; ✓ promover a educação sanitária. |
| Feco-orais (bacterianas) | Contato de pessoa a pessoa, ingestão e contato com alimentos contaminados e contato com fontes de água contaminadas com fezes. | <ul style="list-style-type: none"> • febre tifóide e paratifóide; • diarreias e disenterias bacterianas, como a cólera. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ implantar sistema de abastecimento de água e de disposição dos esgotos; ✓ melhorar moradias e instalações sanitárias; ✓ promover a educação sanitária. |

(conclusão)

| Grupos de doenças | Formas de transmissão | Principais doenças | Formas de prevenção |
|---|--|--|---|
| Helmintos transmitidos pelo solo | Ingestão de alimentos contaminados e contato da pele com o solo contaminado. | <ul style="list-style-type: none">• ascaridiose (lombrigas)• tricuriase• ancilostomíase (amarelão) | <ul style="list-style-type: none">✓ construir e manter limpas as instalações sanitárias;✓ tratar os esgotos antes da disposição no solo;✓ evitar o contato da pele com o solo (andar calçado). |
| Helmintos associado à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático) | Contato da pele com a água contaminada. | <ul style="list-style-type: none">• esquistossomose | <ul style="list-style-type: none">✓ evitar o contato de pessoas com águas infectadas;✓ construir instalações sanitárias adequadas;✓ adotar medidas adequadas para a disposição de esgotos;✓ combater o hospedeiro intermediário, o caramujo. |
| <i>Taenias</i> (solitárias) na carne de boi e de porco | Ingestão de carne mal cozida de animais contaminados. | <ul style="list-style-type: none">• teníase;• cisticercose | <ul style="list-style-type: none">✓ construir instalações sanitárias adequadas;✓ tratar os esgotos antes da disposição no solo;✓ inspecionar a carne e ter cuidados na sua preparação (cozimento). |
| Transmitidas por vetores que se relacionam com as fezes | Procriação de insetos em locais contaminados pelas fezes. | <ul style="list-style-type: none">• filariose (elefantíase) | <ul style="list-style-type: none">✓ combater os insetos transmissores;✓ eliminar condições que possam favorecer criadouros;✓ evitar o contato com criadouros e utilizar meios de proteção individual. |

Fonte: BARROS *et al.* (1995).

Qualquer que seja o caminho seguido para que aconteça a transmissão, as portas de entrada do agente infeccioso no organismo humano são basicamente duas: a boca e a pele. No caso da boca, eles entram, em geral, com o alimento e com a água

de beber contaminados com fezes (MEDEIROS FILHO, 1998). É a porta de entrada para:

- ✓ Ovos de *Ascaris* (lombrigas) e de *Taenias* (solitárias);
- ✓ Cistos de ameba;
- ✓ Germes que causam diarreia, cólera, hepatite, etc.

Já a pele é a porta de entrada para:

- ✓ Larvas de *ancilostomídeos* (vermes do amarelão), cuja penetração se dá pelo contato da pele com solo contaminado (pés descalços ou mãos que mexem com a terra);
- ✓ Larvas de *Schistosoma* (vermes da esquistossomose ou barriga d'água), cuja penetração ocorre no contato da pele com água contaminada, através de banhos, lavagem de roupa, pescaria, trabalho na água (rios, açudes onde existe o caramujo hospedeiro do verme);
- ✓ Larvas de ancilostomídeo, que podem penetrar na pele pelo contato com solo contaminado. Não sendo o homem hospedeiro desse verme, as larvas, ao penetrarem na pele, se perdem e transitam sem orientação debaixo da pele, criando túneis e causando desconforto à pessoa contaminada (bicho-geográfico ou dermatite serpiginosa).

A maneira de quebrar a cadeia de transmissão das doenças é usando barreiras sanitárias, que se constitui na disposição conveniente dos dejetos, de modo que estes não sejam acessíveis ao homem e aos vetores, não poluam a água e o solo, e não acarretem outros inconvenientes, tais como maus odores e mau aspecto no ambiente. As barreiras sanitárias são, pois, obras de saneamento para tratamento dos dejetos que evitam o contato de todas as excreções humanas e de animais com a água, o solo, os alimentos e o próprio homem. Podem ainda proporcionar o aproveitamento dos dejetos em usos diversos e, ao não permitirem a transmissão de doenças, melhoram a vida das comunidades e garantem o desenvolvimento das mesmas (MEDEIROS FILHO, 1998).

3.4 CONDICIONAMENTO / POLÍMEROS

Visando aumentar a capacidade de desaguamento e de captura de sólidos dos lodos, estes podem ser submetidos a uma etapa de condicionamento prévio à etapa de desaguamento. O condicionamento pode ser realizado pela adição de produtos inorgânicos e, ou orgânicos, aplicados no lodo a montante da unidade de desaguamento, e seu papel é o de favorecer a agregação das partículas de sólidos e formação de flocos (FRANÇA, 2010).

GONÇALVES *et al.* (2003) citam que o condicionamento prepara o lodo para o desaguamento, empregando produtos químicos (coagulantes, polieletrólitos) ou processos físicos (aquecimento do lodo) para aumentar sua aptidão para o desaguamento e melhorar a captura de sólidos. As partículas do lodo do esgoto são tipicamente de cargas negativas causando também uma repulsão eletrostática. O tamanho das partículas do lodo é o fator que mais influencia a facilidade de desaguamento do mesmo. O objetivo do condicionamento do lodo é neutralizar os efeitos da hidratação e da repulsão eletrostática, agregar as pequenas partículas, aumentando o tamanho das mesmas.

Neste processo de condicionamento e desaguamento são utilizados polímeros, definidos compostos orgânicos sintéticos de alto peso molecular, que podem ser classificados como catiônicos, aniônicos e não iônicos, dependendo da carga superficial predominante nos mesmos. Estes geralmente são poliacrilamidas de cadeias longas, solúveis em água e são os mais recomendáveis para a produção de biossólidos, do que os produtos químicos inorgânicos, por serem biodegradáveis e não representam perigo de impacto indesejável ao meio ambiente (GONÇALVES *et al.*, 2003).

Polímeros são materiais compostos por macromoléculas cujas cadeias são formadas pela repetição de uma unidade básica de mero. A palavra polímero é de origem grega onde “poli” significa muitos e “mero” significa unidade de repetição. São

compostos químicos de elevada massa molecular, resultantes de reações químicas de polimerização (CANEVAROLO JÚNIOR, 2002).

CANEVAROLO JÚNIOR (2002) comenta que cadeias poliméricas macromoleculares constituídas por apenas um tipo de mero são consideradas homopolímeros e, é dado o nome copolímeros às cadeias poliméricas constituídas por dois ou mais meros diferentes.

De acordo com MANO (1991), os polímeros são caracterizados pela repetição múltipla de uma ou mais espécies de átomos ou grupos de átomos, conhecidos como unidades constitucionais ou monômeros. O número de unidades estruturais repetidas numa macromolécula é chamado grau de polimerização. Em geral, os polímeros contêm os mesmos elementos nas mesmas proporções relativas que seus monômeros, mas em maior quantidade absoluta. A polimerização é uma reação em que as moléculas menores (monómeros) se combinam quimicamente para formar moléculas longas, mais ou menos ramificadas com a mesma composição centesimal, podendo a polimerização ser reversível ou não, ser espontânea ou provocada por calor ou reagentes.

Polímero, para lodo de esgotos, vai servir como um aditivo químico para espessamento do lodo, visando auxiliar na sua secagem, podendo agregar-se ao lodo, formando uma torta de fácil desidratação. A aditivação de polímero antes de ser bombeado para o *bag* vai atuar como coadjuvante acelerador de processo.

O condicionamento químico inorgânico aumenta consideravelmente a massa de lodo gerenciado na ETE. As quantidades adicionadas de coagulantes tornam-se parte das tortas de lodo produzidas e, apesar de estabilizar o lodo, o condicionamento químico contribuirá na redução do potencial de queima para incineração. Podem-se citar como exemplos de coagulantes inorgânicos o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o sulfato ferroso, a cal virgem e a cal hidratada, etc.

De acordo com GONÇALVES *et al.* (2001), os polímeros apresentam diversas vantagens em relação aos condicionadores inorgânicos. Podem-se citar:

- O acréscimo na massa produzida de lodo é pequeno. Condicionadores químicos inorgânicos normalmente aumentam essa massa produzida de 15% a 30%;
- Polímeros não reduzem a aptidão à combustão do lodo desidratado, caso seja utilizado como combustível para incineração;
- As operações de manuseio de polímeros são mais limpas e seguras;
- Os polímeros reduzem problemas de operação e manutenção.

SILVA (1999) elaborou um “estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto” e comentou que o tanino forma sais complexos com todos os metais, tendo assim a propriedade de um polímero e, posteriormente, um floculante, podendo ser utilizados em águas de abastecimentos e esgotos.

CANZIANI *et al.* (1999), comentam que a quantidade de polímero utilizado para a floculação do lodo de esgoto na ETE-Belém, de Curitiba/PR é de aproximadamente 35 kg/dia para uma produção diária de 80 toneladas de lodo bruto, ou seja, cerca de 0,44 kg de polímero por tonelada do produto final.

Conforme GONÇALVES *et al.* (2003) foi realizado um estudo do desaguamento de diferentes tipos de lodos de esgotos, através de drenagem natural da água livre, utilizando o Desaguador Estático Vertical – DEV e, na terceira etapa, o condicionamento dos lodos foi realizado com a utilização de polímero orgânico do tipo Poliacrilamidas de alto peso molecular, catiônico nas concentrações de 2 kg/t, 4 kg/t, 6 kg/t, 8 kg/t e 10 kg/t. Como resultado, nessa etapa, observou-se que o uso de polímeros para condicionamento, além de aumentar o teor de ST na torta e a recuperação SS no líquido percolado, reduz significativamente a duração do tempo de drenagem. Na dose de polímero catiônico de 4 kg/t.ST, o processo assegurou um escoamento de 65,80%

do volume de água da amostra, em um período de 1219 min., e uma torta com 19,61% de ST.

3.5 ACONDICIONAMENTO/DESAGUAMENTO

O desaguamento de lodo pode ser realizado por meios naturais ou mecanizados. Os processos naturais se utilizam da evaporação e da percolação como principais mecanismos na remoção de água, demandando tempo de exposição do lodo às condições que resultam no desaguamento. Em contrapartida, os processos mecanizados são baseados em mecanismos como a filtração, a compactação ou centrifugação, os quais visam acelerar o desaguamento e tornar as unidades compactas e bem mais sofisticadas. Os principais processos utilizados para o desaguamento de lodos estão listados a seguir (FRANÇA, 2010):

- Leitões de secagem;
- Lagoas de lodo;
- Centrífugas;
- Filtro a vácuo;
- Prensas desaguadoras;
- Filtro prensa;
- Desaguamento em *bag* (técnica adotada pela SABESP nesse trabalho).

3.5.1 Desaguamento de lodo em *Bags*

Os *bags* são fabricados utilizando-se tubos de geotêxtil, tecido de alta resistência para desidratação de material com alto teor de umidade. De acordo com CASTRO (2005), os tubos de geotêxtil têm por objetivo reter a parte sólida deste material, permitindo a passagem do fluído e tem como compromisso, resistir às

elevadas tensões ao qual o sistema está submetido. São tecidos de polipropileno, de alta resistência mecânica e de alta tenacidade para desaguamento.

Bag é uma bolsa flexível, de geotecido, com costuras especiais para suportar altas pressões durante operações de bombeamento e deslocamento. KOENER & KOENER (2006), definem que seu formato é referenciado por sua circunferência, uma vez que são elípticas quando cheios, ao invés de circulares.

A resistência do tubo de geotêxtil e da costura utilizada deverão ser suficientes para resistir às elevadas pressões geradas durante seu enchimento. A compatibilidade entre o geossintético e o material removido, em termos de retenção de partículas, também devem ser levados em consideração na hora da execução desta atividade (PILARCZYK, 2000).

As mantas de geotêxtil são costuradas com uma costura compatível com o meio ao qual será exposta, com uma resistência suficiente aos esforços gerados principalmente no processo de enchimento (CASTRO, 2005).

A norma técnica brasileira NBR 12553:2003 define o geotêxtil como um produto têxtil permeável, utilizado predominantemente na engenharia geotécnica, com funções de drenagem, filtração, reforço, separação e proteção (ABNT, 2003). Também são mencionadas na norma da ABNT outras definições como a Geomembrana (manta ou membrana impermeável), o Geossintético (produto sintético aplicado a obras geotécnicas e de proteção ambiental) e o Geotêxtil Tecido (material oriundo do entrelaçamento de fios, filamentos, laminetes/fitas ou outros componentes, segundo direções preferenciais denominadas trama e urdume).

As normas técnicas brasileiras para geossintéticos e geotêxteis e as normas internacionais, estão citadas no item **3.9.3** deste capítulo.

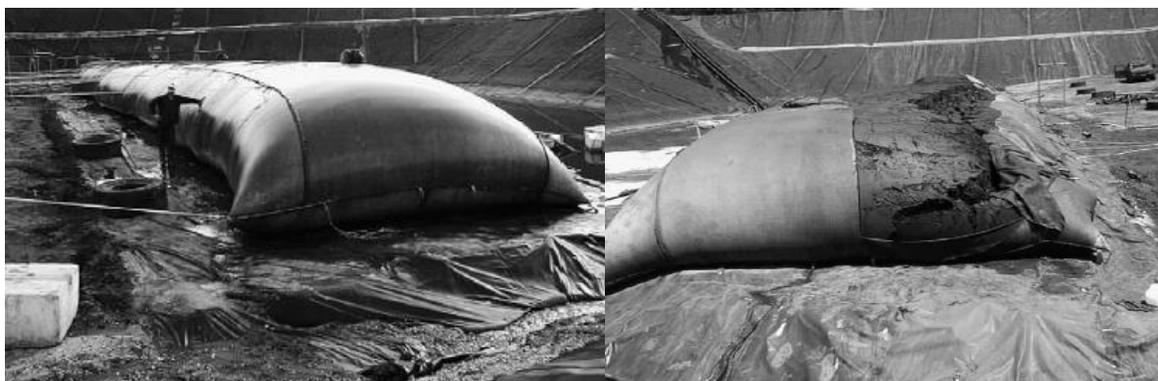
O bombeamento para o interior do *bag* aumenta a velocidade de percolação da água livre do lodo. A operação pode ser repetida várias vezes, até se verificar que o

bag atingiu sua capacidade máxima de contenção em volume dos sólidos. MELO *et al.* (2012), comentam que esta tecnologia é escolhida, principalmente, porque pode desidratar o material em um curto período de tempo, com segurança além de reter os contaminantes, mantendo a área livre de odores.

CASTRO *et al.* (2009) citam que desde os anos 60, os tubos geotêxteis são utilizados como uma tecnologia de geocontenciamento em aplicações de estrutura marítima. Também mencionam que, mais recentemente, estudos têm sido realizados sobre os benefícios do uso desta tecnologia na desidratação de diversos tipos de resíduos, em todo o mundo, com sucesso em matéria de segurança, redução de volume, eficiência e economia.

De acordo com Newman *et al.* (2004), os pioneiros na aplicação de tubos geotêxteis no desaguamento de rejeitos finos foram em Maden Lakkos e Mavres Petres, minas localizadas na península de Chalkidiki, na Grécia. Na figura 3.8 são apresentadas fotos de um *bag* de 60 m de extensão cheio e de outro *bag* aberto após desaguamento.

Figura 3.8 - Fotos de *bags* antes e depois de aberto



Fonte: Newman *et al.* (2004).

STEPHENS *et al.* (2011) realizaram testes utilizando *bags* para conter e desidratar material contaminado sedimentado de estuário marinho e ressaltam que os primeiros passos no processo de drenagem são: realizar uma batimetria verificando a

quantidade de lodo; realizar teste de desidratação rápida (RDT), útil no rastreio de uma série de polímeros que servirá para acelerar a desidratação; realizar Teste Cone para verificar o polímero e a dosagem que proporciona a desidratação mais rápida e indicar a qualidade do efluente e; realizar a análise GDT que vai indicar o volume final alcançável (redução de massa seca).

De acordo com MUTHUKUMARAN & LLAMPARUTHI (2006), esta é uma tecnologia com méritos significativos sobre os métodos convencionais. Tubos geotêxteis utilizados para desaguamento de materiais com alto teor de água oferecem a vantagem da eliminação rápida de grandes volumes de resíduos; além disso, a área exigida é menor. A água filtrada que percola, dependendo de suas condições, pode ser lançada em corpos d'água ou direto no solo. Se o material percolado estiver numa condição ambientalmente insegura, ele pode ser enviado para o tratamento secundário antes do descarte.

Outro aspecto importante que deve ser levado em consideração durante a desidratação é a permeabilidade do geotêxtil. A permeabilidade não permanece constante durante todo o processo. Ela diminui com o tempo. A diminuição da permeabilidade de um geotêxtil é o resultado de entupimento dos poros. No entanto, o tamanho dos poros do geotêxtil e teor de água no lodo são outras variáveis que têm influência significativa sobre a permeabilidade (MUTHUKUMARAN & LLAMPARUTHI, 2006).

Quando um lodo é filtrado pelo geotêxtil, a perda de partículas pára rapidamente e o material percolado torna-se mais limpo. Este processo se dá devido à colmatação física ou biológica do geotêxtil, denominado *Filter Cake*, que é uma película que se forma na interface do geotêxtil, dificultando a passagem (GAFFNEY *et al.*, 1999). De acordo com CASTRO (2005), o *Filter Cake* traz benefícios ao processo de retenção de partículas mas, em contrapartida, diminui a permeabilidade, o que dificulta a eliminação do fluído que percola e tendo, em algumas vezes, que abrir o *bag* para uma evaporação.

AYDILEK & EDIL (2002) apresentam um estudo sobre o desempenho de filtração de geotêxteis com águas residuárias, realizando uma série de testes com diversos tipos de geotêxteis. Os resultados indicam que eles podem ser utilizados para filtrar lodos de esgotos, e a seleção do filtro adequado pode ser feita com base na estrutura dos poros, isto é, porcentagem de área aberta/distribuição do tamanho da abertura dos poros.

CASTRO (2005) comenta que a abertura de filtração de um geotêxtil é definida como a abertura equivalente ao diâmetro da maior partícula que passa através dos poros, sendo utilizado o ensaio tipo peneiramento por via úmida para determinar esta característica.

De acordo com VIDAL & URASHIMA (1999), interferem no processo de filtração:

- A estrutura do geotêxtil (no que diz respeito à espessura e ao tipo e dimensão de seus poros, que seria o espaço entre as fibras);
- A estrutura do meio a filtrar (pode estar ligado ao sentido do fluxo formando um arco de proteção/bloqueio os poros ou ocasionando perda contínua de partículas em fluxos inversos à força da gravidade; pode estar ligado à movimentação das partículas ocasionando um pré-filtro ou; podem apresentar a sufusão que é a passagem livre das partículas mais finas);
- A influência da estrutura do meio a filtrar (a filtração de partículas em suspensão, devido à perda de carga, tende a se depositar em sua superfície, saindo pelas laterais do *bag* enquanto que as partículas maiores se depositam no fundo).

Um dos primeiros projetos a utilizar esta nova tecnologia de desidratação em ETE's foi em meados de 1990, na cidade de Vicksburg, Mississippi – Estados Unidos. Após 65 dias a altura do *bag* passou de 1,5 m para 0,44 m, sendo que, 90% do adensamento ocorreram em 26 dias (FOWLER *et al.*, 2002).

FOWLER *et al.* (2002) também apresentam outro exemplo de aplicação com lodo de esgotos que ocorreu em 1999 na cidade de Kansas City (Kansas – EUA) e que visava à redução de peso e volume e, conseqüentemente, diminuir custos de disposição em aterros.

CORAUCCI FILHO *et al.* (2009) comentam sobre a experiência na lagoa facultativa da cidade de Gália, visando à remoção e disposição de areia e lodo. O lodo foi acondicionado em *bags* e, considerando os critérios de eficiência e o tempo de operação das estações, foi constatada uma grande demanda para remoção de lodo em unidades com idade de operação superior a 15 anos.

Conforme se verifica na tabela 3.11, o teor de sólidos no interior do *bag* vai diminuindo conforme a profundidade e perfil do lodo.

Tabela 3.11 - Concentração de sólidos no lodo acondicionado após 4 meses de desaguamento – ETE Gália

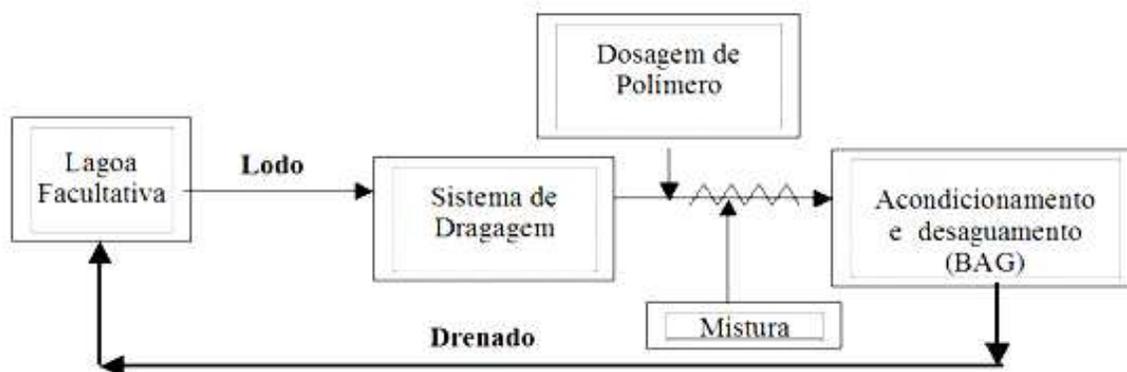
| PERFIL DO LODO | TEOR DE SÓLIDOS (%) |
|--------------------------|----------------------------|
| (cima para baixo) | |
| 0,20 m | 39,94 |
| 0,40 m | - |
| 0,60 m | 38,72 |
| 0,80 m | 33,50 |
| 1,00 m (fundo) | 30,00 |

Fonte: CORAUCCI FILHO *et al.* (2009).

De acordo com CASTRO (2005), o local para desaguamento deve levar em consideração o reaproveitamento ou não do fluido drenado e deve ser escolhido e preparado de acordo com a natureza dos contaminantes presentes.

A Figura 3.9 mostra o fluxograma do processo adotado para remoção, deságue e acondicionamento do lodo no *bag* na ETE Coronel Macedo – SP muito utilizado em outras localidades operadas pela SABESP.

Figura 3.9 - Fluxograma do processo adotado para remoção, deságue e acondicionamento do lodo no *bag* na ETE Coronel Macedo – SP (SABESP)



FONTE: FRANÇA (2010).

O *bag* também pode ser utilizado para contenção de lodos de estações de tratamento de água. PIEPER (2008), analisando o processo de desaguamento de lodo de ETA em *bags*, verificou que a técnica mostrou-se uma alternativa viável para a redução do teor de umidade, apresentando um melhor desempenho em relação às técnicas convencionais. Ressalta-se que a correta operação da tecnologia garante a eficiência da drenagem, sendo, então, necessária a adição de polímeros como agentes coagulantes, de forma a promover a separação da fase líquida da fase sólida. A técnica mostrou-se viável ambiental, econômica e tecnicamente.

ASHWORTH (2003) apresenta um trabalho que revisa a experiência do sul da Austrália no uso de *geobags* para a drenagem de água e lodo de esgotos. Este método demonstrou ser simples e com um baixo custo. Também mostrou ser eficaz em concentrar sólidos visando reduzir os custos de transporte. Em resumo da experiência adquirida, observa-se que os *geobags* provaram ser eficazes na desidratação de lodos

com base em um enchimento intermitente e um ciclo de secagem. A utilização de um *bag* com uma maior área de superfície possibilita um desaguamento melhor entre os ciclos de enchimento e, a forma do *bag* e o tipo do tecido verte a chuva, evitando o reumedecimento do lodo.

Embora os *bags* possam ser usados em solo preparado, um leito de cascalho melhora a drenagem. O processo é livre de odor e a conclusão é de que os *geobags* provaram ser eficazes, tendo um custo de capital baixo, em comparação com a desidratação mecânica, e são simples para operar (ASHWORTH, 2003).

A Figura 3.10 mostra um lodo digerido anaerobicamente que foi transferido por gravidade para o *bag* 6 vezes, durante 6 meses e, permaneceu por mais 6 meses até ser aberto.

Figura 3.10 - *Bag* em Korumburra (Austrália) aprox. duas semanas após abertura



Fonte: ASHWORTH (2003).

No caso de utilização de *bags* para desidratação de lodo de lagoa facultativa com esgotos predominantemente domésticos, FRANÇA (2010) apresenta resultados que atendem às legislações específicas nas caracterizações físicas, químicas e

parasitológicas, concernentes à utilização na agricultura, após um tempo mínimo de 03 meses de acondicionamento.

3.6 RESPIROMETRIA

A velocidade com que ocorre a degradação da matéria orgânica, quando se é lançado lodo de esgotos no solo, depende das condições físicas, químicas e biológicas do solo e das quantidades de lodo aplicadas (CORAUCCI FILHO *et al.*, 1997).

SIVIERO *et al.* (2006) comenta que, a respiração da microbiota é uma ferramenta importante para avaliar a biodegradação de compostos orgânicos no solo, a partir de medidas de CO₂ e/ou absorção de O₂.

O ensaio de respirometria é utilizado para avaliar a atividade microbiológica de um solo através da medida de CO₂ gerado na degradação da matéria orgânica. Neste processo existe uma correlação direta entre a geração de CO₂ e a degradação da matéria orgânica num determinado solo, que ocorre pela ação dos micro-organismos (NUVOLARI, 1996).

De acordo com CORAUCCI FILHO *et al.* (1997), o ensaio de respirometria baseia-se na medição do CO₂ gerado no processo de degradação de resíduos orgânicos no solo. A avaliação dos resultados baseia-se pela quantidade de CO₂ produzida nos respirômetros num determinado período de tempo. NUVOLARI (1996) cita que, quando num solo é adicionada certa quantidade de matéria orgânica, ocorre um crescimento da massa biológica, aumentando a geração de CO₂. À medida que a matéria orgânica vai diminuindo, o número de micro-organismo diminui, ocorrendo um decréscimo na geração de CO₂.

MARIANO (2006) comenta que os métodos respirométricos podem ser utilizados como um primeiro teste para se avaliar a biodegradabilidade de poluentes em

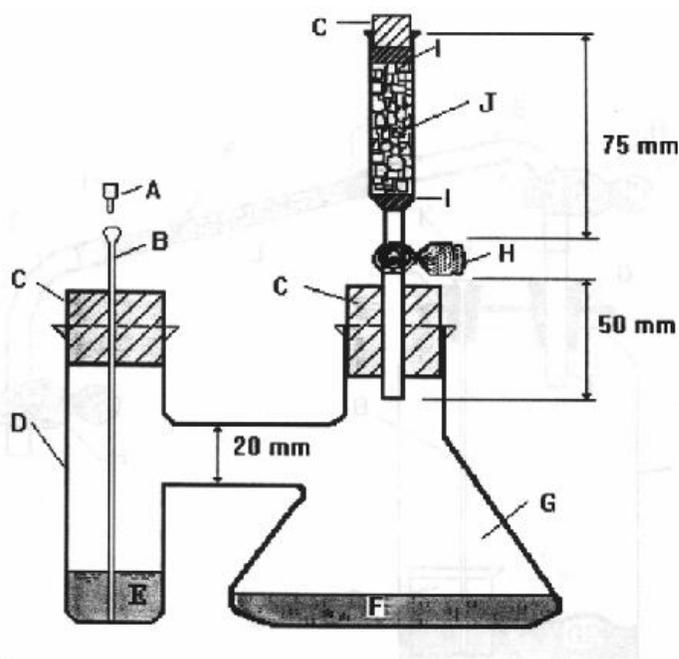
solo ou água. Estes testes são conduzidos sob condições ótimas com relação à umidade, temperatura, nutrientes minerais, inoculação microbiana e aeração (se o teste é aeróbio).

Lodos que apresentam certa concentração de metais ou outros contaminantes, com uma incubação a taxas crescentes podem, a partir de determinados valores, interferir, inibindo ou matando os micro-organismos e diminuindo assim a geração de CO₂. Pelo ensaio de respirometria pode-se determinar a eventual toxicidade do lodo aos micro-organismos do solo (CORAUCCI FILHO *et al.*, 1997).

Foi desenvolvido por BARTHA & PRAMER (1965) um frasco biométrico e foi descrito o método de ensaio e os resultados de um estudo comparativo de geração acumulada de CO₂ durante um tempo de 19 dias, utilizando 50 g de solo em cada frasco e adicionados 500 ppm das seguintes substâncias: 2,4 ácido diclorofenoxiacético (2,4- D); glicose; azida e fenol.

De acordo com BARTHA & PRAMER (1965), o respirômetro de Bartha é um sistema fechado, constituído de duas câmaras interligadas, onde ocorrem a biodegradação do resíduo e a remoção do CO₂ produzido durante o processo. Tal respirômetro é especificado na figura 3.11.

Figura 3.11 - Respirômetro Padrão (BARTHA)



LEGENDA

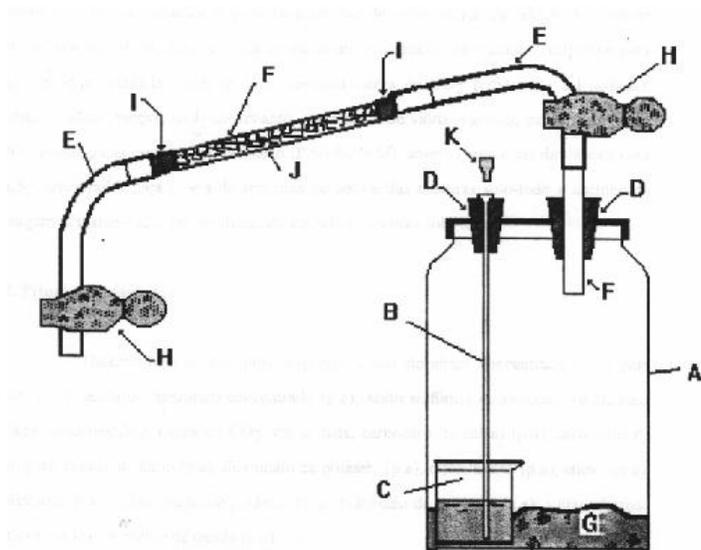
- A - Tampa da cânula (vedação PARA_FILM);
- B - Cânula (? int. 1 a 2mm);
- C - Vedação com rolha de Borracha;
- D - Braço lateral (? =40mm; H=100mm);
- E - Solução de KOH - 0,4N;
- F - Amostra de solo ou mistura lodo-solo (50g);
- G - Frasco Erlenmeyer (250 ml);
- H - Válvula;
- I - Camada suporte (lã de vidro ou algodão);
- J - Filtro de ascarita ou cal sodada (? =15mm e H=40mm);

Fonte: ABNT (1999).

NUVOLARI (1996) comenta que, no caso do respirômetro de Bartha, a medida do gás carbônico produzido pode ser realizada em sistemas de análise em fluxo contínuo, por método químico ou em sistemas fechados. O sistema de fluxo contínuo é caracterizado por câmaras de incubação, onde se faz passar um fluxo de ar isento de CO₂ produzido pela respiração dos micro-organismos do solo.

Visando a diminuição de custos, NUVOLARI (1996) efetuou algumas adaptações num respirômetro, denominando-o Respirômetro Alternativo, conforme se vê na figura 3.12, também utilizado por CORAUCCI FILHO *et al.* (1997).

Figura 3.12 - Esquema do Respirômetro Alternativo



LEGENDA

- A - Frasco de vidro (560 ou 800 ml) com tampa metálica;
- B - Cânula (? int. 1 a 2mm);
- C - Bequer de 20 ml para colocação da solução de KOH;
- D - Vedação com rolha de borracha;
- E - Mangueira de borracha (? 6 mm);
- F - Tubo de vidro (? 6 mm);
- G - Amostras de solo ou da mistura solo-lodo (50g);
- H - Presilhas de Mohr (para seccionamento do fluxo de ar);
- I - Camada suporte;
- J - Filtro de ascarita ou de cal sodada (tubo de vidro ? 6 mm, comp. 0,25m);
- K - Tampa da cânula (vedação com papel PARA-FILM).

Fonte: NUVOLARI (1996).

O objetivo do trabalho de CORAUCCI FILHO *et al.* (1997) era comparar o desempenho do respirômetro padrão de Bartha com dois outros modelos alternativos de 560 e 800 ml, utilizando-se lodo digerido de indústria cítrica em um solo tipo “franco arenoso”, para verificar a melhor relação taxa aplicada/tempo de degradação do lodo, determinando-se o conjunto de melhor desempenho. Os resultados demonstram que a biodegradação se estabelece num tempo aproximado de 20 dias.

A Norma CETESB P4230/99 que determina o potencial uso de lodos de ETE na agricultura visando o atendimento às exigências ambientais, faz referencia à Norma

Técnica L6.350/90, como documento complementar, quando se fala em biodegradação de resíduos no solo pelo método respirométrico de Bartha (método de ensaio). As determinações de biodegradação da matéria orgânica contida em lodos deverão ser realizadas de acordo este método de ensaio ou similar.

Já a NBR 14283:1999 especifica o método respirométrico de Bartha para determinação do índice de biodegradação da matéria orgânica contida em resíduos a serem tratados em solos, avalia a tratabilidade de resíduos em solo e infere condições de manejo (ABNT, 1999). A norma NBR 14283:1999 menciona:

- O solo a ser utilizado deve ser o mesmo onde o resíduo ensaiado deve ser disposto. A área deve ser percorrida em ziguezague, retirando-se com um trado amostras em uma profundidade de 15 cm;
- Para caracterizar o solo devem ser feitas determinações de densidade global, densidade aparente, umidade residual e capacidade de campo, pH inicial e curva de neutralização;
- No caso do resíduo, para o procedimento de caracterização é necessário determinar primeiro: a) toxicidade aguda; b) resíduo total fixo e volátil; c) conteúdo de água; d) conteúdo de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo; f) metais pesados (triagem e quantificação);
- Balanceamento de nutrientes: Com base no conteúdo de carbono do resíduo, deve-se adicionar sais de nitrogênio e fósforo, de modo a atingir as relações: $C/N = 60$ e $C/P = 300$;
- Medida da biodegradação: Ocorre pela medida de CO_2 produzido que consiste na diferença entre a produção com o resíduo e a do controle correspondente. É possível estimar tempos de indução para início da biodegradação, velocidade máxima e fração de resíduo que foi degradada;

- Construir uma tabela e um gráfico que forneçam a quantidade de CO₂ acumulado produzida por biodegradação em função do tempo de incubação;
- Cálculo da quantidade de carbono biodegradado: Admitir que 50% do carbono biodegradado se transformam em CO₂ e que os 50% remanescentes se incorporam ao solo sob a forma de húmus e biomassa.

Considerando que resíduos que apresentam eficiência de biodegradação acima de 30% são passíveis de serem tratados no solo, as taxas de aplicação que apresentarem eficiência de biodegradação acima de 30% podem ser adotadas em escala piloto para um futuro sistema de tratamento de resíduos no solo (ABNT, 1999).

3.7 UTILIZAÇÃO DE LODO NA AGRICULTURA

A gestão de resíduos sólidos visa esgotar as possibilidades de tratamento ou destinação adequada, antes de encaminhar para aterros ou incineração. Para que a destinação do lodo de esgotos deixe de ser um problema ambiental de grande escala e se torne uma solução agrícola, uma das alternativas mais promissoras é o uso deste material rico em matéria orgânica, fósforo e nitrogênio como adubo de plantas.

Conforme comenta FRANÇA (2010), o lodo de ETE é considerado um condicionador de solo devido à grande quantidade de matéria orgânica que é disposta no solo, tornando-se um forte atrativo, principalmente para solos tropicais.

De acordo com ALVES (2006), a disposição do lodo depende diretamente de suas características físico-químicas e microbiológicas, com concentrações relevantes de matéria orgânica, nutrientes, metais pesados e compostos orgânicos tóxicos. A inadequada deposição do lodo pode vir a trazer risco à saúde humana, animal e vegetal, como também provocar o acúmulo de compostos orgânicos e metais pesados no solo.

Além dos pontos elencados, vale lembrar a possível contaminação do lençol freático, das plantas e até de trabalhadores agrícolas, caso o lodo seja manuseado incorretamente.

Comentam FJÄLLBORG *et al.* (2005) que o lodo de esgoto é uma fonte de matéria orgânica e nutrientes, com o potencial de ser usado como fertilizante. No entanto, os metais presentes no lodo de esgoto podem se acumular no solo depois de repetidas aplicações, e se tornar tóxicos para os micro-organismos, organismos do solo e/ou das plantas.

Esta matéria orgânica e os nutrientes presentes no lodo aumentam a fertilidade do solo e melhoram a capacidade de armazenamento e infiltração da água, além de constituir uma fonte de macro e micronutrientes para os vegetais pela sua mineralização (ALVES, 2006).

Diversas opções podem ser adequadas para o destino final do lodo de esgoto, em função das características específicas de cada sistema. A incineração, a disposição em aterros sanitários e os *landfarmings* devem ser priorizados sempre que as características do biossólido ou a análise econômica não viabilizem a reciclagem em solos agrícolas. No entanto, sempre que possível, a reciclagem deve ser priorizada, por representar a alternativa mais adequada sob o aspecto ambiental e geralmente a mais econômica, pois transforma um resíduo urbano de disposição problemática em um insumo de grande valor agrícola (ANDREOLI *et al.*, 1998).

Segundo PEREIRA (2007), a criação de programas voltados para a utilização do lodo de ETE's em algumas culturas, pode ser uma experiência bem-sucedida, principalmente se o produtor rural estiver a par dos valores incorporados ao biossolo, produto este que tem condições de substituir outros insumos necessários à agricultura, particularmente os orgânicos, de origem animal ou vegetal.

SILVA JÚNIOR (2010) demonstra que no caso de Franca/SP, a cada seis anos de disposição do lodo de esgoto no aterro sanitário municipal, reduz-se em um ano o

tempo de vida útil do aterro. O autor apresenta que o custo para transporte e disposição no aterro é o dobro quando comparado ao custo para aplicação em solo agrícola (distância máxima de até 60 km). Além disso, o uso agrícola do lodo implica a diminuição do custo na aplicação de insumos agrícolas, aumento da produtividade (entre 10 a 20%), maior resistência da planta às épocas de estiagem e melhor desenvolvimento da planta quando aplicado durante o plantio das mudas.

Um estudo realizado por um grupo da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna (SP), mostrou que o uso de lodo de esgoto em uma cultura de milho pode resultar, em médio e longo prazos, em contaminação do solo com hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Segundo o autor, essas substâncias, poluentes orgânicos de grande persistência no meio ambiente, formados à partir da queima incompleta de material orgânico, são nocivas a diversos organismos aquáticos e terrestres. Os resultados do projeto fornecem subsídios e orientação para decisões técnicas e políticas, no sentido de se cultivar ou não plantas utilizando-se lodo de esgotos. Os níveis de HPAs encontrados no milho não chegaram a afetar sua segurança para consumo, mas os níveis encontrados no solo podem comprometê-lo em médio e longo prazos, com o uso contínuo do lodo. A área foi utilizada durante seis anos e os níveis de HPAs nas amostras de solo foram cerca de 290 microgramas por quilo – baixa contaminação para os padrões internacionais (PARAÍBA *et al.*, 2009).

PEREIRA (2007) comenta sobre a elaboração de um plano de gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na estação de tratamento de esgoto de Anápolis – GO. Dentro dos objetivos estavam caracterizar em termos qualitativos e quantitativos os resíduos sólidos gerados, e diagnosticar os procedimentos utilizados para manejo e destinação dos resíduos. Foi feita a caracterização volumétrica do lodo por batimetria, foram realizadas as caracterizações físico-químicas e bacteriológicas do lodo e foram estudadas opções para a retirada e o destino dos resíduos sólidos produzidos. O valor médio de 0,064 L/hab.dia *per capita* de lodo depositado está dentro dos valores citados na literatura. Também a taxa de acúmulo de lodo e o valor médio para ST foi de 8,69% nas lagoas anaeróbias, um valor relativamente baixo, quando comparado com os

valores sugeridos por Gonçalves *et al.* (1999), que vem a afirmar que os lodos retirados de lagoas primárias, geralmente, apresentam elevados teores de sólidos totais (ST > 15%).

Na Figura 3.13, é apresentada uma vista da ETE Anápolis, onde se percebe 4 lagoas anaeróbias e 2 lagoas aeradas e 2 lagoas de sedimentação.

Figura 3.13 - Vista aérea da ETE Anápolis - GO



Fonte: PEREIRA (2007).

Concluiu o autor que existem várias possibilidades de destinação local, embora a proximidade do aterro sanitário municipal indique o depósito como mais vantajoso em termos financeiros. A opção de se levar o lodo produzido para áreas degradadas e/ou também usá-lo na agricultura é bastante interessante, visto que as baixas concentrações de metais pesados mostram a possibilidade de aplicação de lodo de lagoas. O autor também concluiu que a utilização na agricultura, respeitados os critérios legais, surge como uma das melhores opções para o destino desse resíduo. Além de diminuir os custos dos produtores rurais, pode vir a apresentar uma solução definitiva para o conflito gerado, pela utilização de áreas para o descarte do lodo (PEREIRA, 2007).

3.8 CUSTOS

A gestão do lodo produzido por uma estação de tratamento de esgotos, em qualquer caso, é um dos maiores desafios para o sucesso técnico e operacional do processo. É também um desafio econômico, já que alguns estudos mostram que o processamento da fase sólida pode representar até 60% dos custos operacionais da estação. Portanto, é necessário que os objetivos de estabilização do lodo, em um determinado processo, sejam definidos ainda na fase de projeto da estação e fixados de acordo com o destino final previsto para o lodo (MALTA, 2001).

É importante quantificar, em unidades monetárias, os aspectos positivos e negativos, agrupando-os aos custos e receitas esperados do projeto, para definir sua rentabilidade e viabilidade. Como é difícil efetivar esta quantificação para alguns aspectos, a opinião da comunidade é importante e também a decisão política fundamentada. Conclui MALTA (2001) que a educação e a consciência da população, assim como a política de desenvolvimento social, são os fatores mais importantes a serem levados em conta, ao se estabelecer um processo de tratamento, disposição adequada e uso sanitário do lodo gerado.

FRANÇA (2010) adotou para a ETE de Coronel Macedo custo médio de transporte estimado de R\$0,10 toneladas por quilômetro; custo de remoção do lodo por meio de dragagem e centrifuga de R\$ 97,40 por metro cúbico; custo de remoção do lodo por meio de dragagem e *bag* = R\$ 98,75/m³; custo do sistema de acondicionamento (preços dos *bags*) de R\$ 52.000,00; custo total de remoção de R\$ R\$ 120,19 por metro cúbico (concentração do teor de sólidos totais após centrifugação de 25%) e custo de disposição em aterro sanitário de R\$ 54,00 por tonelada. Já para os custos de produção agrícola, considerando-se custo com pá carregadeira e entrega do lodo após um ano de desaguamento no *bag*, até 50 Km de distância da ETE, por conta da SABESP, o custo de transporte até a área agrícola (50 Km) é de R\$ 0,51t/km. Considerando-se densidade de 1,05 t/m³, o custo total de remoção é de R\$ 124,75 por

metro cúbico. O autor concluiu em sua pesquisa que o custo da remoção de 2000 m³ de lodo com teor médio de sólidos totais de 12%, por meio do sistema de dragagem e acondicionamento em *bag*, foi de USD 4,67/hab.ano.

Nas tabelas 3.12 a 3.15 seguem os valores de custos para os processos de remoção e algumas alternativas de disposição, considerando-se com ou sem *bag*, disposição no aterro, em solo agrícola ou indústria cimenteira com coprocessamento.

Tabela 3.12 - Custos para os processos de remoção com dragagem, centrifugação e disposição em aterro

| DRAGAGEM E CENTRIFUGAÇÃO | ATERRO SANITÁRIO 400 KM | DISPOSIÇÃO NO ATERRO | TOTAL | R\$ t-1 |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------|
| R\$240.380,00 | R\$40.320,00 | R\$54.432,00 | R\$335.132,00 | 167,56 |

Fonte: FRANÇA (2010).

Tabela 3.13 - Custos para os processos de remoção com dragagem em *bag* e disposição em aterro sanitário (400 km)

| DRAGAGEM E BAG | ATERRO SANITÁRIO 400 KM | DISPOSIÇÃO NO ATERRO | TOTAL | R\$ t-1 |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------|
| R\$249.500,00 | R\$29.640,00 | R\$40.014,00 | R\$319.154,00 | 159,57 |

Fonte: FRANÇA (2010).

Tabela 3.14 - Custos para os processos de remoção com dragagem em *bag* e disposição em solo agrícola (50 km)

| DRAGAGEM E BAG | SOLO AGRÍCOLA 50 KM | TOTAL | R\$ t-1 |
|-----------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| R\$249.500,00 | R\$18.895,50 | R\$268.395,50 | 134,20 |

Fonte: FRANÇA (2010).

Tabela 3.15 - Custos para os processos de remoção com dragagem em *bag* e coprocessamento em indústria cimenteira (300 km)

| DRAGAGEM E BAG | INDÚSTRIA CIMENTEIRA 300 KM | COPROCESSAMENTO | TOTAL | R\$ t-1 |
|-----------------------|--|------------------------|---------------|----------------|
| R\$249.500,00 | R\$22.230,00 | R\$207.480,00 | R\$479.210,00 | 239,60 |

Fonte: FRANÇA (2010).

Para os custos envolvidos com operação de higienização, coleta e transporte do lodo da lagoa anaeróbia de Anápolis/GO, PEREIRA (2007) demonstra na tabela 3.16 os custos totais para cada proposta, considerando deslocamento de caminhão limpa-fossa de 1 hora e capacidade de 16 m³ na proposta 1 para remover 7.308 m³ de lodo, pás carregadeiras e caminhão toco de 6 m³, percorrendo uma distância máxima de 25km na proposta 2 para remover de 5.481 m³ de lodo (umidade próxima a 65%) e distância média de 20 km até a área degradada na proposta 3 (remoção de 5.481 m³ de lodo).

Tabela 3.16 - Demonstrativo dos custos totais para cada proposta (ETE Anápolis/GO)

| PROPOSTA | DISCRIMINAÇÃO | CUSTO (R\$) |
|-----------------|--|--------------------|
| 1 | Uso de caminhão limpa-fossa destino do lodo para o aterro sanitário municipal | 251.250,00 |
| 2 | Uso de máquinas, destino do lodo para o aterro sanitário municipal | 161.248,76 |
| 3 | Uso de máquinas, higienização e destino do lodo para recuperação de áreas degradadas | 576.478,36 |

Fonte: PEREIRA (2007).

3.9 LEGISLAÇÃO

3.9.1 Normas Internacionais

3.9.1.1 Estados Unidos

A norma internacional EPA/831-B-93-002b (1994) da Agência de Proteção Ambiental Americana – EPA conhecida como 40 CFR (*Code of Federal Regulations*), parte 503, que se refere à aplicação no solo de lodo de esgoto e determina normas para a utilização ou eliminação de lodo de esgoto, tem como intenção garantir que lodo de esgoto seja usado de forma que proteja a saúde humana e o meio ambiente. A norma (Parte 503) estabelece os requisitos gerais, os limites de poluentes, padrões operacionais e práticas de gestão, bem como a frequência de registros, monitoramento e requisitos de informação que se aplicam a lodo de esgoto, e referencia a Seção 503 (EPA, 1994) como guia para informações gerais sobre as regras de biossólidos. Confere os padrões para a utilização ou descarte de lodo e impõe requisitos para a aplicação no solo e incineração, fornecendo orientações aos aplicadores de lodo de esgoto.

Define que o número e o rigor das exigências dependem da qualidade do lodo de esgotos e das circunstâncias em que ele está sendo aplicado. Na seção 3, simplifica o processo de determinar quais exigências são aplicáveis a diferentes situações e fornece seus requisitos. Todo aplicador deve saber as exigências aplicáveis à sua situação e deve localizar o cenário que mais lembra as suas circunstâncias particulares.

As concentrações máximas de metais poluentes e os limites máximos de aplicação são apresentados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 - Concentrações máximas admissíveis de poluentes no lodo e nos solos que recebem lodo nos EUA

| POLUENTES | CONC. MÁXIMA NO LODO (mg/kg)₁ | LIMITES DE ACUMULAÇÃO NO SOLO (kg/ha)₂ | LIMITES DE APLICAÇÃO ANUAL NO SOLO (kg/ha)₂ | CONC. MÉDIA (mg/kg)₁ |
|-------------------|---|--|---|--|
| Arsênio | 75 | 41 | 2,00 | 41 |
| Cádmio | 85 | 39 | 1,90 | 39 |
| Cromo | 3.000 | 3.000 | 150,00 | 1.200 |
| Cobre | 4.300 | 1.500 | 75,00 | 1.500 |
| Chumbo | 840 | 300 | 15,00 | 300 |
| Mercúrio | 57 | 17 | 0,85 | 17 |
| Molibdênio | 75 | 18 | 0,90 | 18 |
| Níquel | 420 | 420 | 21,00 | 420 |
| Selênio | 100 | 100 | 5,00 | 36 |
| Zinco | 7.500 | 2.800 | 140,00 | 2.800 |

OBSERVAÇÕES:

1- Em mg do poluente por kg de lodo (em bases secas)

2 - Em kg de poluente por ha de solo (em bases secas)

Fonte: MALTA (2001), adaptado de USEPA (1993).

Para a norma, a definição de lodo de esgotos é: a terra aplicada para melhorar a estrutura do solo. É também aplicado como fertilizante para fornecer nutrientes para as culturas e outras vegetações cultivadas no solo. Lodo de esgoto é comumente aplicado em terrenos agrícolas, florestas, locais de recuperação, parques, fazendas, relvas, tiras de estradas medianas, campos de golfe, gramados e jardins residenciais.

Lodo de esgotos é aplicado a granel ou vendido ou cedido em um saco ou recipiente similar para aplicação ao solo. É aplicado geralmente em grandes quantidades para grandes parcelas de terra.

Lodo de esgotos em massa é tipicamente usado por comércios e aplicadores municipais para as árvores, agricultura, fazendas, campos de golfe, parques e recuperação de locais de mineração de construção ou de superfície. Quando vendido

ou cedido em um saco ou outros contêineres é geralmente utilizado pelo usuário em menor escala, como um jardineiro ou paisagista. Em áreas perturbadas, tais como locais de mineração, onde não há substrato do solo, grandes quantidades de nitrogênio e matéria orgânica podem ser usados para reestabelecer a cobertura vegetal. Quanto a lodos de esgotos utilizados nestas áreas visando fornecer o substrato adequado, é muitas vezes, necessário aplicar quantidades que excedam a taxa agronômica. Em tais casos, a norma cita que lodo de esgoto é, geralmente, aplicado uma vez, e então o local é semeado. Devido à natureza altamente solúvel de nitratos, que é seu principal componente nutricional, os lodos de esgoto têm o potencial de contaminação da água subterrânea por nitratos, se não forem devidamente geridos.

A Seção 503 incide sobre os três seguintes parâmetros, como base para determinar a qualidade de lodo de esgoto: a presença de poluentes (arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, molibdênio, selênio e zinco); a presença de agentes patogênicos (por exemplo, bactérias, vírus, parasitas); a atratividade ao lodo de esgoto de vetores (por exemplo, roedores, moscas, mosquitos) que poderiam entrar em contato com organismos patogênicos e propagação da doença. A qualidade do lodo de esgoto varia de município para município com relação a estes três parâmetros podendo haver uma série de diferentes esgotos.

Os métodos de distribuição do lodo de esgoto, o número e o tipo de exigências associadas com a aplicação no solo são afetados não só pela qualidade do lodo (níveis de poluentes, nível de redução de patógenos e atratividade aos vetores), mas também pelo método de distribuição, isto é, se o lodo é aplicado a granel ou é colocado em um saco ou outro recipiente para aplicação ao solo. O método de distribuição é importante porque é uma indicação da quantidade relativa de lodo de esgoto a ser aplicada. Lodo a granel é geralmente aplicado em grande quantidade, enquanto que lodo vendido ou cedido em sacos ou outros recipientes é normalmente aplicado em menor quantidade.

A Seção 503 contém duas classes de redução de patógenos: Classe A: redução dos organismos patogênicos; torna o lodo de esgoto praticamente livre de

patógenos após o tratamento; Classe B: alternativas de redução de patógenos; reduz significativamente, mas não elimina todos os patógenos.

Aplicadores de lodo de esgoto certificados como Classe A não têm requisitos em relação a patógenos. Se o lodo de esgoto é de classe B, as restrições devem ser impostas, para dar tempo para os processos naturais reduzirem ainda mais os níveis de patógenos. O acesso público deve ser restrito para, pelo menos, 30 dias, em todos os terrenos que recebem aplicação de lodo de esgoto Classe B. Se o local é frequentemente utilizado pelo público ou a possibilidade de contato com o público é alta, o acesso ao público deve ser restrito para um ano após a aplicação.

Em resumo, as seguintes restrições associadas com a aplicação de lodo de esgoto Classe B são necessárias para fornecer o mesmo nível de proteção da saúde pública e do meio ambiente, como é fornecido pelo lodo de esgoto Classe A:

- ✓ O acesso público à terra, com elevado potencial para a exposição pública será restrito para um ano, após a aplicação de lodo de esgoto;
- ✓ O acesso público à terra, com um baixo potencial para a exposição pública, será restrito por 30 dias, após a aplicação de lodo de esgoto;
- ✓ As culturas alimentares, como forragens, ou as culturas de fibras não serão removidas por 30 dias após o lodo ser aplicado;
- ✓ As culturas alimentares que tocam a mistura de lodo de esgoto/solo e estão totalmente acima da superfície terrestre (por exemplo, melões, pepinos, etc.) não devem ser colhidas por 14 meses após a aplicação de lodo de esgoto;
- ✓ As culturas alimentares colhidas abaixo da superfície da terra (por exemplo, colheitas de raiz tais como batatas, cenouras, rabanetes) não devem ser colhidas por 20 meses após a aplicação, quando o lodo não é incorporado ao solo ou permanece na superfície do solo para quatro ou mais meses antes da incorporação ao solo;
- ✓ Estas mesmas culturas não devem ser colhidas por 38 meses, se o lodo de esgoto é incorporado ao solo dentro de quatro meses após sua aplicação;

- ✓ Animais não devem ser apascentados em um sítio por 30 dias após a aplicação de lodo de esgoto.

Tipicamente, lodos de esgotos serão aplicados a uma taxa que excede a taxa agronômica apenas uma vez, para melhorar as propriedades físicas do solo e fornecimento de nitrogênio e outros nutrientes. Futuras aplicações devem ser limitadas às taxas agronômicas da vegetação crescida. A pessoa que prepara o lodo de esgoto deve monitorar sua qualidade (EPA, 1994).

3.9.1.2 União Europeia

De acordo com MALTA (2001), a partir de 1980, a “*Commission of European Communities (CEC)*” encarregou-se de padronizar regulamentos e fixar limitações à utilização do lodo no solo, nos países da Comunidade Europeia, estabelecendo as seguintes diretrizes básicas a serem observadas:

- ✓ O lodo não deve ser usado quando apresentar concentração de poluentes, acima dos estabelecidos, ou se a quantidade acumulativa desses elementos adicionados ao solo, durante um período de 10 anos, puder exceder os níveis especificados;
- ✓ O lodo fresco (não estabilizado) só poderá ser utilizado no solo, se for imediatamente nele injetado ou misturado em solos aráveis;
- ✓ Nenhuma aplicação deverá ser feita em parques, “*playgrounds*” ou em matas e florestas, exceto quando houver uma autorização especial;
- ✓ Áreas gramadas não deverão ser utilizadas como pastagens e as forragens não deverão ser colhidas para alimentação de animais por, pelo menos, seis semanas após a aplicação do lodo estabilizado;
- ✓ Não deverá ser aplicado em culturas que possam entrar em contato direto com o lodo e que sejam consumidas cruas;
- ✓ Não deverá ser aplicado em solos que apresentarem valor de pH menor que 6,0 após a aplicação.

Na tabela 3.18 verifica-se o valor permitido de metais no lodo e no solo agrícola da Comunidade Europeia. A faixa de valores válidos para pH no solo está entre 6 e 7. Para os metais Cobre, Níquel e Zinco, esses limites podem ser aumentados em 50%, caso o pH do solo seja maior do que 7. Para aplicação anual, refere-se à média anual, para um período de 10 anos, podendo a aplicação ser de uma só vez.

Tabela 3.18 - Diretrizes da Comunidade Europeia (1986) para presença de metais no lodo e no solo agrícola (valor máximo permitido em base seca)

| METAIS | NO SOLO (mg/kg) | NO LODO (mg/kg) | APLIC. ANUAL (kg/ha.ano) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Cádmio | 1 - 3 | 20 – 40 | 0,15 |
| Cobre | 50 - 140 | 1000 – 1750 | 12,0 |
| Níquel | 30 - 75 | 300 – 400 | 3,0 |
| Chumbo | 50 - 300 | 750 – 1200 | 15,0 |
| Zinco | 150 - 300 | 2500 – 4000 | 30,0 |
| Mercúrio | 1 - 1,5 | 16 – 25 | 0,1 |

Fonte: MALTA (2001), Adaptado de Matthews (1995).

Na tabela 3.19 é realizada uma comparação entre a norma americana e a norma da comunidade europeia.

Tabela 3.19 - Padrões referentes a metais em lodo de esgoto utilizados na agricultura e nos solos agrícolas (Normas dos EUA e da Comunidade Europeia)

| Metais Pesados | EUA – USEPA Part 503 | | Europa – Diretiva 86/278/EEC | |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|
| | Concentração máxima | Qualidade excepcional | Recomendado | Obrigatório |
| | (mg/kg MS) | (mg/kg MS) | (mg/kg MS) | (mg/kg MS) |
| Zinco | 7500 | 2800 | 2500 | 4000 |
| Cobre | 4300 | 1500 | 1000 | 1750 |
| Níquel | 420 | 420 | 300 | 400 |
| Cádmio | 85 | 39 | 20 | 40 |
| Chumbo | 840 | 300 | 750 | 1200 |
| Mercúrio | 57 | 17 | 16 | 25 |
| Cromo | 3000 | 1200 | - | - |
| Molibdênio | 75 | 18 | - | - |
| Selênio | 100 | 36 | - | - |
| Arsênio | 75 | 41 | - | - |
| Metais pesados | Carga máxima | Conc. no solo | Carga máxima | Conc. no solo |
| | (kg/ha.ano) | (mg/kg MS) | (kg/ha.ano) | (mg/kg MS) |
| Zinco | 140 | 1460 | 30 | 150 – 450 (3) |
| Cobre | 75 | 770 | 12 | 50 – 21 (3) |
| Níquel | 21 | 230 | 3 | 30 – 112 (3) |
| Cádmio | 1,9 | 20 (4) | 0,15 | 1 – 3 |
| Chumbo | 15 (4) | 180 (4) | 15 | 50 – 300 |
| Mercúrio | 0,85 | 8,5 (4) | 0,1 | 1 – 1,5 |
| Cromo | 150 | 1530 | - | - |
| Molibdênio | 0,9 (5) | 9,5 (5) | - | - |
| Selênio | 5 | 50 (4) | - | - |
| Arsênio | 2 | 21 (4) | - | - |

Fonte: Hall (1998).

3.9.1.3 Japão

Apresentam-se na Tabela 3.20, valores limites mais restritivos do que as legislações americanas e europeias, para diversos elementos potencialmente tóxicos (metais pesados e outras substâncias perigosas), quando da utilização do lodo, como fertilizante, no Japão.

Tabela 3.20 - Concentrações limites para metais pesados e outras substâncias perigosas no lodo para utilização como fertilizante (no Japão)

| SUBSTÂNCIA | CONCENTRAÇÃO LIMITE | |
|---------------------------------------|---------------------|------------|
| | (em mg/l) | (em mg/kg) |
| Cádmio | 0,3 | 5 |
| Cianetos | 1,0 | -- |
| Pesticidas fosforados | 1,0 | -- |
| Chumbo | 3,0 | -- |
| Cromo Hexavalente | 1,5 | -- |
| Arsênico | 1,5 | 50 |
| Mercúrio total | 0,005 | 2 |
| Bifenilas policloradas (PCB's) | 0,003 | -- |

Fonte: MALTA (2001), adaptado de NOGUCHI e ITO (1992).

3.9.1.1 Canadá

O desenvolvimento de regulamentos para uso de lodos de esgotos na agricultura, no Canadá, iniciou-se em 1970, com o estabelecimento de limites de concentração para 11 metais pesados, em 1978. As regras para a utilização de biossólidos têm por objetivo facilitar o uso em solos agricultáveis, na medida em que sejam asseguradas a qualidade ambiental, a saúde dos animais e dos consumidores, a qualidade dos alimentos e a produtividade das terras. O regulamento *Guidelines for the Utilization of Biosolids and Other Wastes on Agricultural Lands - Ministry of Environment and Energy, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs*, (1996) é válido na Província de Ontário, sendo semelhante aos demais no país (COMPARINI, 2001).

Os produtores de resíduos utilizáveis devem obter aprovação tanto para aplicar o material como para os locais de aplicação. COMPARINI (2001) apresenta um resumo dos principais critérios deste regulamento:

- ✓ **Quanto à estabilidade do material:** Os biossólidos devem ser tratados antes da aplicação nos solos, de forma a minimizar odores e reduzir o número de organismos patogênicos presentes até níveis aceitáveis;
- ✓ **Quanto aos constituintes potencialmente desejáveis:** A quantidade de amônia e nitratos, considerada como o nitrogênio imediatamente disponível para as plantas, é limitada de forma a proteger a qualidade da água subterrânea, solo e plantas. Em nenhum caso, a taxa de aplicação deve exceder a 135 kg N/ha por um período de 5 anos para plantações, ou, 4 anos para gramados. O conteúdo de P-solúvel nos biossólidos deve ser analisado, considerando-se que cerca de 40% do P aplicado estará disponível para as plantas;
- ✓ **Quanto aos constituintes potencialmente indesejáveis:** restringem a quantidade de metais pesados que possam ser aplicadas aos solos, de forma a limitar a acumulação. Para os biossólidos digeridos anaerobiamente, os limites são estabelecidos com base em relações entre a concentração de N e de metais.

Também é importante destacar (Comparini, 2001):

- ✓ O regulamento estabelece limites da concentração máxima de metais em solos com a aplicação de biossólidos e, de taxas máximas de aplicação em kg/ha, para solos típicos não contaminados;
- ✓ O pH do material a ser aplicado deve estar compreendido entre 6,0 e 8,5, exceto se a aplicação for efetuada antes do plantio ou após a colheita;
- ✓ Devido à intolerância de certas culturas ao Boro, é estabelecido um limite de aplicação de 1 kg/ha.ano, podendo chegar a 2 kg/ha.ano para culturas tolerantes.

Existem outros critérios estabelecidos no regulamento: critérios relativos aos locais de aplicação; relativos ao tipo de solo; relativos às declividades máximas das áreas de aplicação; critérios para evitar a compactação dos solos e os relativos a culturas adequadas e períodos de aplicação. Quando a aplicação é efetuada em terras para a produção de alimentos, recomenda um período de 12 meses antes da colheita seguinte (COMPARINI, 2001).

3.9.2 Normas Brasileiras

Os órgãos ambientais, o Ministério Público e diversos segmentos da sociedade começaram a exigir soluções ambientais para o destino dos resíduos gerados e, em atendimento a essas exigências, leis e normas foram criadas para regulamentar a disposição e o uso dos resíduos produzidos nas ETE's, estabelecendo critérios com base no risco potencial para a saúde pública e do meio ambiente (PEREIRA, 2007).

3.9.2.1 Constituição Federal

Alguns ambientalistas consideram a Constituição Federal (BRASIL, 1988) um marco importante na política de proteção ambiental, no sentido de valorizar a participação da sociedade, prevendo a interação entre os poderes, a fiscalização através do poder público e penas mais severas para o infrator (PEREIRA, 2007). Alguns artigos da constituição, como os que seguem, tratam o tema de forma direta:

Artigo 23.º – É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios a proteção do meio ambiente e combate à poluição em qualquer de suas formas;

[...]

Artigo 225.º – Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Antes da Constituição de 1988, bem como após, leis e resoluções foram elaboradas com o objetivo de se responder aos desafios relativos a resíduos sólidos produzidos pela população, como por exemplo, a Lei n.º 6.225, de 14 de julho de 1975 (BRASIL, 1975), que dispõe, pelo MAPA, sobre a discriminação de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e combate à erosão e dá outras providências; a Lei n.º 6.938 (BRASIL, 1981), que disciplina a Política Nacional do Meio Ambiente; o Decreto n.º 97.632 (BRASIL, 1989), dispõe que os empreendimentos destinados à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental, submeter à aprovação do órgão ambiental competente o Plano de Recuperação de Área Degradada–PRAD; a Lei n.º 9.605, de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais); a Resolução CONAMA n.º 1 (BRASIL, 1986), que trata dos Estudos de Impacto Ambiental–EIA e Relatórios de Impacto Ambiental–RIMA; a Resolução CONAMA n.º 5, de 15 de junho de 1988, que sujeita a licenciamentos, as obras de sistemas de abastecimento de água, sistemas de esgotos sanitários, sistemas de drenagem e sistemas de limpeza urbana; a Lei n.º 7.804 (BRASIL, 1989), que disciplina o crime ecológico; a Resolução CONAMA n.º 237 (BRASIL, 1997), que estabelece definições e requisitos para o Licenciamento Ambiental; a Resolução CONAMA n.º 302, de 20 de março de 2002, que dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno bem como sobre o Plano Ambiental de Conservação, recursos hídricos, floresta, solo, estabilidade geológica, biodiversidade, fauna, flora, recuperação, ocupação, rede de esgoto, entre outros (PEREIRA, 2007).

3.9.2.2 ABNT NBR 10.004:2004

No território brasileiro, a classificação dos resíduos, em razão dos riscos que apresenta, é feita conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004) que os agrupa em categorias:

a) Resíduos Classe I – Perigosos

Baseiam-se nos riscos potenciais que um resíduo pode representar para a saúde pública e o ambiente devido às suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas. Recebem esta classificação os resíduos sólidos ou misturas de resíduos que, devido às suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem representar risco para a saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou causar efeitos adversos ao ambiente, quando manejados ou dispostos de forma inadequada.

b) Resíduos Classe II – Não perigosos

b1) Resíduos Classe II A - Não Inertes

Recebem essa classificação os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que não se enquadram na classe I (perigosos) ou na classe II B (inertes), podendo ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

b2) Resíduos Classe II B – Inertes

Incluem os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que, quando amostrados e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada à temperatura ambiente, não apresentem em nenhum de seus constituintes solubilizados concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspectos, cor, turbidez, dureza e sabor.

3.9.2.3 Ministério do Meio Ambiente

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aprovou Resolução n.º 375, de 29 de agosto de 2006, que regulamenta aplicação de lodo de esgotos em áreas agrícolas, definindo critérios e procedimentos para seu uso, visando a benefícios a agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente (BRASIL, 2006).

No caso de produção, compra, venda, cessão, empréstimo ou permuta do lodo de esgoto e seus produtos derivados, deverá também ser observado o Decreto n.º 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamenta a Lei n.º 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

Após 5 anos de sua publicação, se não forem comprovados que existe segurança em termos de saúde pública por meio de estudos epidemiológicos para o uso do lodo classe B, somente poderão ser utilizados na agricultura lodo de esgoto ou produto derivado classe A.

A caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir: potencial agronômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade.

Para a caracterização do potencial agronômico devem ser determinados os parâmetros: carbono orgânico; fósforo total; nitrogênio Kjeldahl; nitrogênio amoniacal; nitrogênio nitrato/nitrito; pH em água (1:10); potássio total; sódio total; enxofre total; cálcio total; magnésio total; umidade; e sólidos voláteis e totais.

Para a caracterização química do lodo de esgoto ou produto derivado quanto à presença de substâncias inorgânicas, deverão ser determinadas, de acordo com a Tabela 3.21, respeitando os limites máximos de concentração. Na Seção III, em seu artigo n.º 11, são apresentados os requisitos mínimos de quantidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado à agricultura.

Tabela 3.21 - Lodo de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas – Resolução CONAMA 375/06 (mg/kg, base seca)

| Substâncias Inorgânicas | Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca) |
|--------------------------------|---|
| Arsênio | 41 |
| Bário | 1300 |
| Cádmio | 39 |
| Chumbo | 300 |
| Cobre | 1500 |
| Cromo | 1000 |
| Mercúrio | 17 |
| Molibdênio | 50 |
| Níquel | 420 |
| Selênio | 100 |
| Zinco | 2800 |

Fonte: BRASIL (2006).

Quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, deverão ser determinadas, de acordo com a Tabela 3.22, pelo tipo de lodo.

Tabela 3.22 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos – Resolução CONAMA 375/06

| Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado | Concentração de patógenos |
|---|--|
| A | - Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP / g de ST |
| | - Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST |
| | - <i>Salmonella</i> ausência em 10g de ST |
| | - Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST |
| B | - Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP / g de ST |
| | - Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST |

Fonte: BRASIL (2006).

A Resolução proíbe a utilização de lodo de esgoto em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo. Em solo onde foi aplicado lodo de

esgoto, estas culturas somente podem ser cultivadas após um período de 48 meses da última aplicação. Já para pastagens, este prazo será de 24 meses.

Para lodos Classe B fica restrita a sua utilização no cultivo do café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação, respeitando o artigo n.º 15 e o inciso XI do artigo n.º 18 (BRASIL, 2006).

A aplicação, conforme menciona o artigo n.º 17, deverá ser feita observando-se os limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas, considerando-se a Tabela 3.23.

Tabela 3.23 - Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas, pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas

| Substâncias inorgânicas | Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (kg/ha) |
|--------------------------------|--|
| Arsênio | 30 |
| Bário | 265 |
| Cádmio | 4 |
| Chumbo | 41 |
| Cobre | 137 |
| Cromo | 154 |
| Mercúrio | 1,2 |
| Molibdênio | 13 |
| Níquel | 74 |
| Selênio | 13 |
| Zinco | 445 |

Fonte: BRASIL (2006).

Na Tabela 3.24 são apresentadas as substâncias orgânicas potencialmente tóxicas a serem determinadas no lodo de esgoto ou produto derivado e no solo.

Tabela 3.24 - Concentrações permitidas de substâncias orgânicas em solos agrícolas – Resolução CONAMA 375/06 (mg/kg)

| Substância | Concentração permitida no solo (mg/kg) |
|--|---|
| Benzenos Clorados | |
| 1,2-Diclorobenzeno | 0,73 |
| 1,3-Diclorobenzeno | 0,39 |
| 1,4-Diclorobenzeno | 0,39 |
| 1,2,3-Triclorobenzeno | 0,01 |
| 1,2,4-Triclorobenzeno | 0,011 |
| 1,2,5-Triclorobenzeno | 0,5 |
| 1,2,3,4-Tetraclorobenzeno | 0,16 |
| 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno | 0,01 |
| 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno | 0,0065 |
| Ésteres de ftalatos | |
| Di-n-butil ftalato | 0,7 |
| Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP) | 1 |
| Dimetil ftalato | 0,25 |
| Fenóis não clorados | |
| Cresóis | 0,16 |
| Fenóis clorados | |
| 2,4-Diclorofenol | 0,031 |
| 2,4,6-Triclorofenol | 2,4 |
| Pentaclorofenol | 0,16 |
| Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos | |
| Benzo(a)antraceno | 0,025 |
| Benzo(a)pireno | 0,052 |
| Benzo(a)fluoranteno | 0,38 |
| Indeno(1,2,3-c,d)pireno | 0,031 |
| Naftaleno | 0,12 |
| Fenantreno | 3,3 |
| Lindano | 0,001 |

Fonte: BRASIL (2006).

3.9.2.4 MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento fiscaliza a produção e o comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes, ficando estes estabelecimentos que produzam, importem, exportem e comercializem insumos, obrigados a se registrarem, assim como os produtos por eles fabricados ou importados.

As leis, decretos e instruções normativas sobre Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes e Biofertilizantes são citadas conforme BRASIL [2009?]:

- Lei n.º 6.894, de 16 de dezembro de 1980: Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências;
- Decreto n.º 4.954, de 14 de janeiro de 2004: Aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências;
- Instrução Normativa n.º 25, de 23 de julho de 2009: Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura;
- Instrução Normativa n.º 20, de 02 de junho de 2009: Altera a Instrução Normativa n.º 10 de 06/05/2004;
- Instrução Normativa n.º 31, de 23 de outubro de 2008: Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução Normativa SDA n.º 17, de 21 de maio de 2007;
- Instrução Normativa n.º 40, de 30 de junho de 2008: Dispõe sobre a importação de animais, vegetais, seus produtos, derivados e partes, subprodutos, resíduos de valor econômico e dos insumos agropecuários constantes do Anexo desta

Instrução Normativa. De acordo com a instrução, a importação atenderá aos critérios regulamentares e aos procedimentos de fiscalização, inspeção, controle de qualidade e sistemas de análise de risco, fixados pelos setores competentes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA e observará as normas para registro no SISCOMEX;

- Instrução Normativa n.º 21, de 16 de abril de 2008: Altera a Instrução Normativa n.º 5 de 23/02/2007. Anexo VI - atualizado em 29/06/2009 e Anexo II - atualizado em 01/10/2010;
- Instrução Normativa n.º 28, de 27 de julho de 2007: Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial - CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
- Instrução Normativa n.º 24, de 20 de junho de 2007: Reconhece métodos para determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas, conforme o art. 71 do anexo do Decreto n.º 4.954, de 14 de janeiro de 2004;
- Instrução Normativa n.º 17, de 21 de maio de 2007: Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa;
- Instrução Normativa n.º 5, de 23 de fevereiro de 2007: Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura, conforme anexos a esta Instrução Normativa. Anexo II - atualizado em 01/10/2010, Anexo III - atualizado em 29/10/2010, Anexo IV - atualizado em 29/10/2010 e Anexo VI - atualizado em 29/06/2009;
- Instrução Normativa n.º 35, de 04 de julho de 2006: Ficam aprovadas as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores

de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa;

- Instrução Normativa n.º 27, de 05 de junho de 2006: Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Esta instrução admite ainda tolerâncias limitadas a 30% dos valores definidos;
- Instrução Normativa n.º 14, de 15 de dezembro de 2004: Aprova as Definições e Normas sobre as Especificações e as Garantias, as Tolerâncias, o Registro, a Embalagem e a Rotulagem dos Substratos para Plantas, constantes do Anexo desta Instrução Normativa;
- Instrução Normativa n.º 5, de 06 de agosto de 2004: Aprova as Definições e normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como a relação dos micro-organismos autorizados para produção de inoculantes no Brasil;
- Instrução Normativa n.º 10, de 06 de maio de 2004: Aprova as disposições sobre a classificação e os registros de estabelecimentos e produtos, as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda e para prestação de serviço;
- Instrução Normativa n.º 14, de 16 de outubro de 2003: Dispõe sobre as importações de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, e suas respectivas matérias-primas, uma vez atendidas as legislações pertinentes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estas importações observarão as normas para registro no SISCOMEX;
- Instrução Normativa n.º 8, de 02 de julho de 2003: Ficam dispensados de registros no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA os fertilizantes, corretivos e inoculantes importados diretamente pelo consumidor final, para seu uso próprio.

3.9.2.5 Normas do Estado de São Paulo

A norma CETESB P4230/99 é um manual técnico que visa aplicar biossólidos de forma segura, na agricultura, no estado de São Paulo. A utilização do lodo só será aceita se proporcionar um benefício para a cultura aplicada no local e obedecer os critérios ambientais estabelecidos. Esta norma não se aplica a lodos de tanques sépticos, resíduos do gradeamento, resíduos de caixas de areia e lodos contendo PCB's, dioxinas e furanos (CETESB, 1999).

Citam-se as seguintes normas complementares à Norma CETESB P 4230:

Normas ABNT

- NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos;
- NBR 12.988 - Líquidos Livres - Verificação em Amostra de Resíduos;
- NBR 13.221 - Transporte de Resíduos;
- NBR 13.894 - Tratamento no solo (*landfarming*) – Procedimento.

Normas CETESB

- Norma Técnica - L6350 - “Solos - determinação da biodegradação de resíduos - método respirométrico de Bartha - Método de ensaio”;
- Norma Técnica - L5620 - Mutação g nica reversa em *Salmonella typhimurium* - Teste de Ames.

Quanto   presença de patógenos, a norma P4230/99 classifica os biossólidos nas Classes A ou B, dependendo do tratamento a que forem submetidos, de forma similar   normaliza o norte americana. A norma também descreve os critérios para aprova o de novos processos de tratamento para redu o adicional de patógenos, que inclui (COMPARINI, 2001):

- efetuar análise preliminar do biossólido, antes do seu tratamento, para determinar e confirmar a presença do indicador selecionado;
- anotar e documentar os valores ou faixa de valores para os parâmetros de operação do processo de tratamento de patógenos a ser testado;
- analisar o biossólido após o tratamento para determinar a densidade ou concentração do indicador selecionado;
- confirmada a presença do indicador, selecionado a priori, e desde que tenha sido atendida a exigência quanto à densidade do mesmo após o tratamento, o processo analisado será considerado como de redução adicional de patógenos.

Na Tabela 3.25 são apresentados os indicadores e as densidades mínimas e máximas exigidas para a verificação dos processos de redução de patógenos.

Tabela 3.25 - Indicadores e densidades exigidas para verificação de processos de redução adicional de patógenos – CETESB P4230/99

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

Fonte: CETESB (1999).

Na Tabela 3.26 é apresentada uma comparação entre os limites dos metais pesados permitidos no lodo de esgoto ou produto derivado da Resolução CONAMA 375/2006 - MMA, da Norma da CETESB P4230/99 e de 2 anexos da Instrução Normativa 27/2006 do MAPA.

Tabela 3.26 - Concentração máxima de metais pesados permitidos no lodo de esgoto ou produto derivado (mg.kg⁻¹, base seca)

| Substância inorgânica | Resolução CONAMA 375/2006 | Norma CETESB P.4230/99 | IN 27/2006 MAPA (Anexo IV) Substrato para planta e Condicionador de Solo | IN 27/2006 MAPA (Anexo V) Fertilizantes Orgânicos |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|---|
| Arsênio | 41 | 75 | 20 | 20 |
| Bário | 1300 | - | - | - |
| Cádmio | 39 | 85 | 8 | 3 |
| Chumbo | 300 | 840 | 300 | 150 |
| Cobre | 1500 | 4300 | - | - |
| Cromo | 1000 | - | 500 | 200 |
| Mercúrio | 17 | 57 | 2,5 | 1 |
| Molibdênio | 50 | 75 | - | - |
| Níquel | 420 | 420 | 175 | 70 |
| Selênio | 100 | 100 | 80 | 80 |
| Zinco | 2800 | 7500 | - | - |

Fonte: BRASIL (2006) – CONAMA; CETESB (1999) e; BRASIL (2006) - MAPA.

Para a taxa de aplicação máxima anual de biossólidos em solos agrícolas, a Tabela 3.27, apresenta os valores em kg/ha da Norma CETESB P4230/99.

Tabela 3.27 - Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodos – CETESB P4230/99

| Metal | Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/período de 365 dias) |
|-----------------|---|
| Arsênio | 2,0 |
| Cádmio | 1,9 |
| Cobre | 75 |
| Chumbo | 15 |
| Mercúrio | 0,85 |
| Níquel | 21 |
| Selênio | 5,0 |
| Zinco | 140 |

Fonte: CETESB (1999).

Para reaplicação do lodo, deverão ser respeitados os limites constantes na Tabela 3.28, referentes à carga acumulada em kg/ha, que deve ser calculada com base na soma das cargas, considerando-se o teor de metal no lodo e as taxas de cada aplicação.

Tabela 3.28 - Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas (kg/ha)

| Metal | Resolução CONAMA 375/06 - MMA | CETESB P4230/99 |
|-------------------|--|----------------------------|
| Arsênio | 30 | 41 |
| Bário | 265 | |
| Cádmio | 4 | 39 |
| Chumbo | 41 | 300 |
| Cobre | 137 | 1500 |
| Cromo | 154 | |
| Mercúrio | 1,2 | 17 |
| Molibdênio | 13 | |
| Níquel | 74 | 420 |
| Selênio | 13 | 100 |
| Zinco | 445 | 2800 |

Fonte: BRASIL (2006) e CETESB (1999).

3.9.3 Normas específicas para os *bags*

A ABNT possui as seguintes normas técnicas para geossintéticos e geotêxteis: **NBR 12553:2003** - Geossintéticos: terminologia; **NBR 12568:2003** - Geossintéticos: determinação da massa por unidade de área; **NBR 12569:1992** - Geotêxteis: determinação da espessura; **NBR 12592:2003** - Geossintéticos: identificação para fornecimento; **NBR 12593:1992** - Amostragem e Preparação de Corpos-de-prova de Geotêxteis; **NBR 12824:1993** - Geotêxteis: determinação da resistência à tração não-confinada - ensaio de tração de faixa larga; **NBR 13134:1994** - Geotêxteis: determinação da resistência à tração não-confinada de emendas - ensaio de tração de faixa larga; **NBR 13359:1995** - Geotêxteis: determinação da resistência ao puncionamento estático - ensaios com pistão tipo cbr; **NBR 14971:2003** - Geotêxteis e

produtos correlatos: determinação da resistência à perfuração dinâmica (queda de cone) - método de ensaio; **NBR 15223:2005** - Geotêxteis e produtos correlatos: determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento; **NBR 15224:2005** - Geotêxteis: instalação em trincheiras drenantes; **NBR 15225:2005** - Geossintéticos: determinação da capacidade de fluxo no plano; **NBR 15226:2005** - Geossintéticos: determinação do comportamento em deformação e na ruptura, por fluência sob tração não-confinada; **NBR 15227:2005** - Geossintéticos: determinação da espessura nominal de geomembranas termoplásticas lisas; **NBR 15228:2005** - Geotêxteis e Produtos Correlatos: simulação do dano por abrasão - ensaio de bloco deslizante; **NBR 15229:2005** - Geotêxteis e Produtos Correlatos: determinação da abertura de filtração característica; **NBR 15352:2006** – Mantas termoplásticas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de polietileno linear (PEBDL) para impermeabilização.

Além das NBR's existe a recomendação da Associação Brasileira de Geossintéticos, **IGSBR GM 01/03** – Instalação de geomembranas termoplásticas em obras geotécnicas e de saneamento ambiental – Recomendações para projeto e, têm-se também, as seguintes normas internacionais (DNER, 1998):

AFNOR G 38-015 – *Détermination de la résistance au déchirement*; **AFNOR G 38-015** – *Méssure de la permittivité hydraulique*; **AFNOR G 38-017** – *Porométrie: Détermination de l'ouverture de filtration*; **ASTM D3786** – *Test method for burst strength*; **ASTM D4491** – *Test method for water permeability of geotextiles by permittivity*; **ASTM D4533** - *Test method for trapezoid testing strength of geotextiles*; **ASTM D4632** - *Test method for breaking load and elongation of geotextiles (Grab Method)*; **ASTM D4716** - *Test method for constant head hydraulic transmissivity (in-plane flow) of geotextiles and geotextile related products*; **ASTM D4751** - *Test method for determining apparent opening size of a geotextile*; **ASTM D4884** - *Test method for seam strength of sewn geotextiles*; **ASTM D4886** - *Test method for abrasion resistance of geotextiles (sand paper/sliding block method)*; **ASTM D5101** - *Test method for measuring the soil-geotextile system clogging potential by the gradient ratio*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

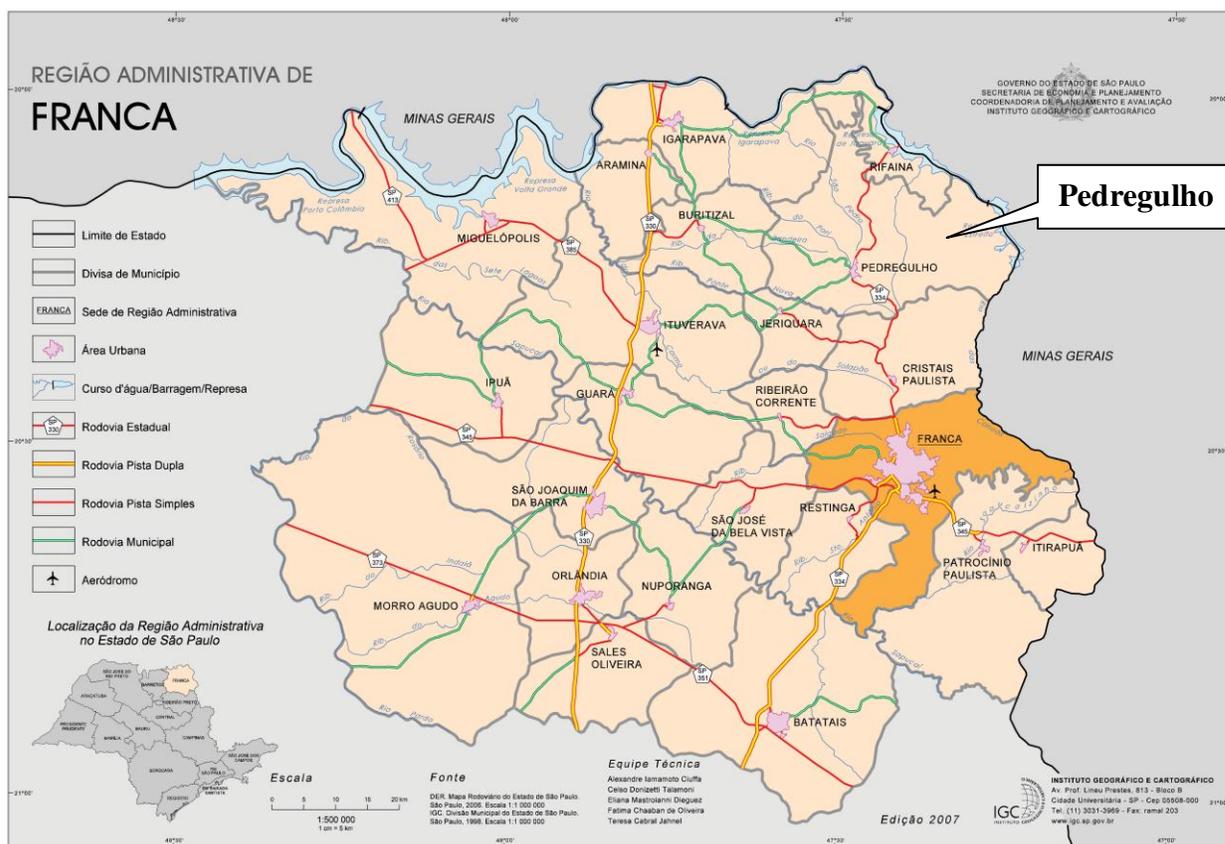
4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O município de Pedregulho foi fundado em 15/08/1897, está localizado no estado de São Paulo, na região administrativa de Franca, fazendo divisas com as cidades de Cristais Paulista, Jeriquara, Buritizal, Igarapava, Rifaina e o estado de Minas Gerais. Localiza-se a uma latitude 20°15'25" sul e a uma longitude 47°28'36" oeste e, estando a uma altitude de 1.035 metros, o município possui 15.767 habitantes (dados SEADE 2011), com um total de 4301 ligações de água (dez/2011), cuja concessionária responsável é a SABESP, sob a gerência da regional de Franca (Unidade de Negócio Pardo e Grande).

Esta Unidade de Negócio controla 29 municípios operados na bacia do Rio Pardo e do Rio Grande, existindo mais de 50 processos de tratamento de esgotos em operação sendo 17 por lagoas facultativas, 11 no sistema australiano (lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa), 5 no sistema australiano seguido de lagoa de maturação, 2 por lagoas facultativas seguidas de lagoas de maturação, 2 por lagoas aeradas seguidas de lagoas de sedimentação e, 1 por lagoa facultativa aerada seguida de lagoa facultativa, dentre outros. Nestes sistemas, em alguns casos, existem mais de uma lagoa instalada, podendo aumentar ainda mais a quantidade a ser limpa na região.

A Figura 4.1 mostra o mapa de localização de Pedregulho/SP na Região Administrativa de Franca - estado de São Paulo.

Figura 4.1 - Mapa de localização do município de Pedregulho na Região Administrativa de Franca – estado de São Paulo



Fonte: IGC (2007).

A Figura 4.2 refere-se a uma foto satélite do município de Pedregulho/SP apresentando também, ao lado esquerdo da Rodovia Cândido Portinari, a Estação de Tratamento de Esgotos - ETE Pedregulho operada pela Sabesp.

Figura 4.2 - Foto Satélite parcial da cidade de Pedregulho com a ETE ao lado



Localização de Pedregulho: Latitude 20°15'25" sul e Longitude 47°28'36" oeste

Fonte: *GOOGLE MAPS* (2012).

4.1.1 Dados da ETE

A ETE Pedregulho está instalada na zona rural da cidade, ao lado da Rodovia Cândido Portinari (SP 334) e próximo à Rua Joaquim Ferreira Coelho. Conforme citado anteriormente e como se observa na figura 4.3, a concepção da ETE é pelo sistema australiano, sendo a primeira lagoa anaeróbica e a segunda lagoa facultativa. Dispõe de uma caixa de areia em outra área próxima à ETE, com gradeamentos, e de uma caixa de chegada no início do processo da ETE, com medidor de vazão e extravasor.

Conforme projeto original e, de acordo com a foto aérea apresentada na Figura 4.3, no local foi deixado um espaço para implantação futura de uma lagoa de maturação.

Figura 4.3 - Foto aérea da ETE Pedregulho



Localização da ETE: Latitude 20°26'36" sul e Longitude 47°48'33" oeste

Fonte: AUTOR (2012).

Fundada em 15 de agosto de 1990, sua capacidade projetada é de 15 l/s, seu corpo receptor é de classe 2, denominado Córrego Cascata e a vazão média é em torno de 12,5 l/s na época da seca (dados de 2007) e 24,5 l/s na época das chuvas (dados de 2008). A eficiência média está em 90,5% de remoção de DBO e 80,5% de DQO com a DBO de entrada média de 714 mg O₂/l e a DBO média de saída de 68 mg O₂/l. A lagoa anaeróbia possui 49,50m de comprimento por 49,75 de largura.

Nas Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 são apresentadas as vazões médias e diárias da ETE Pedregulho (durante uma semana) num período seco (sem chuvas) e num período chuvoso, realizadas em outubro de 2007 e março de 2008, respectivamente.

Figura 4.4 - Vazão média da ETE Pedregulho (época de seca - 2007)

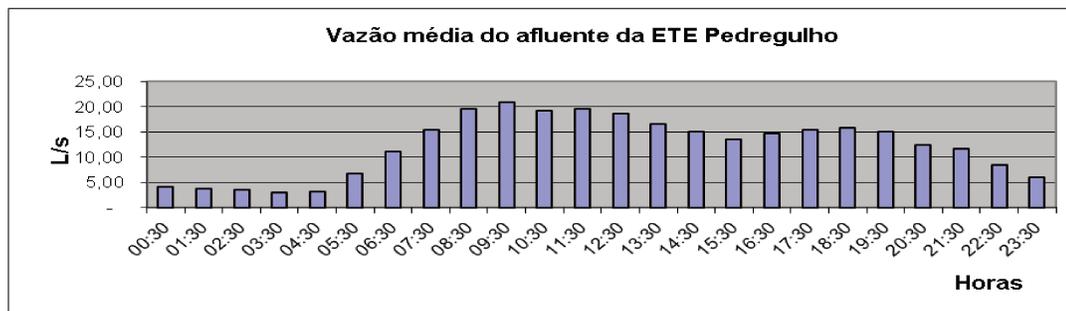


Figura 4.5 – Vazão diária da ETE Pedregulho (época de seca - 2007)

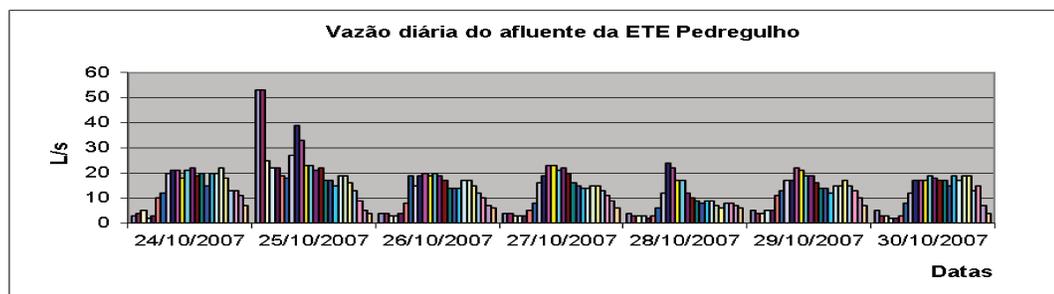


Figura 4.6 - Vazão média da ETE Pedregulho (época de chuvas - 2008)

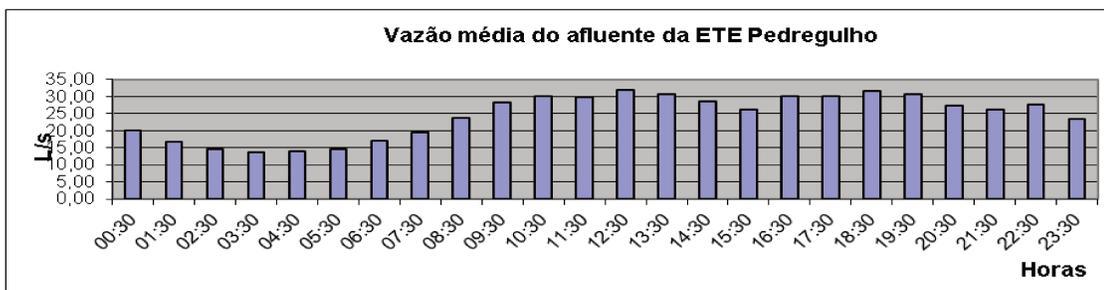
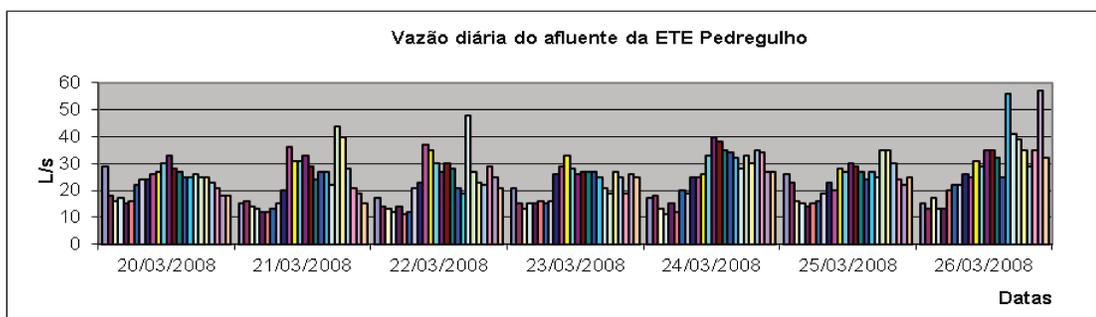


Figura 4.7 - Vazão diária da ETE Pedregulho (época de chuvas - 2008)



4.2 BATIMETRIA DA LAGOA ANAERÓBIA

Conforme avaliado pela Sabesp da regional de Franca, utilizando-se a técnica da batimetria, foi definido um cronograma para remoção do lodo das ETE's. A priorização para iniciar a remoção teve como base os seguintes critérios:

- ✓ Sistemas antigos com tempo de operação elevado;
- ✓ Sistemas que apresentam comprometimento com relação à eficiência;
- ✓ Sistemas com emissão de maus odores, provocando incômodos para a sociedade.

Devido à dificuldade em se destinar o esgoto bruto para outro processo de tratamento e à complexidade em lançá-lo diretamente no córrego, sem tratamento, escolheu-se fazer a remoção do lodo com o sistema em operação.

O bombeamento para os *bags* teve início em 11/12/2008 e término em 25/03/2009.

Foi realizada em 24/11/2008 uma batimetria, antes do início da retirada do lodo e foi realizada uma segunda batimetria após o final do bombeamento para os *bags*, em 26/03/2009.

Conforme procedimento elaborado pela Sabesp local, adotou-se um esquema para a execução da batimetria, cujos itens mais importantes são apresentados a seguir:

- Utilizando-se uma trena, realiza-se a demarcação plana, nas margens horizontal e vertical da lagoa. Esta demarcação é sinalizada por pequenos marcos pretos, colocados nas laterais da lagoa, de forma que sejam visíveis à pessoa que irá realizar as medidas (o medidor);
- Esses marcos coloridos definem linhas (sobre o espelho d'água da lagoa) entre uma margem e outra, ou seja, linhas perpendiculares às laterais da lagoa. Os

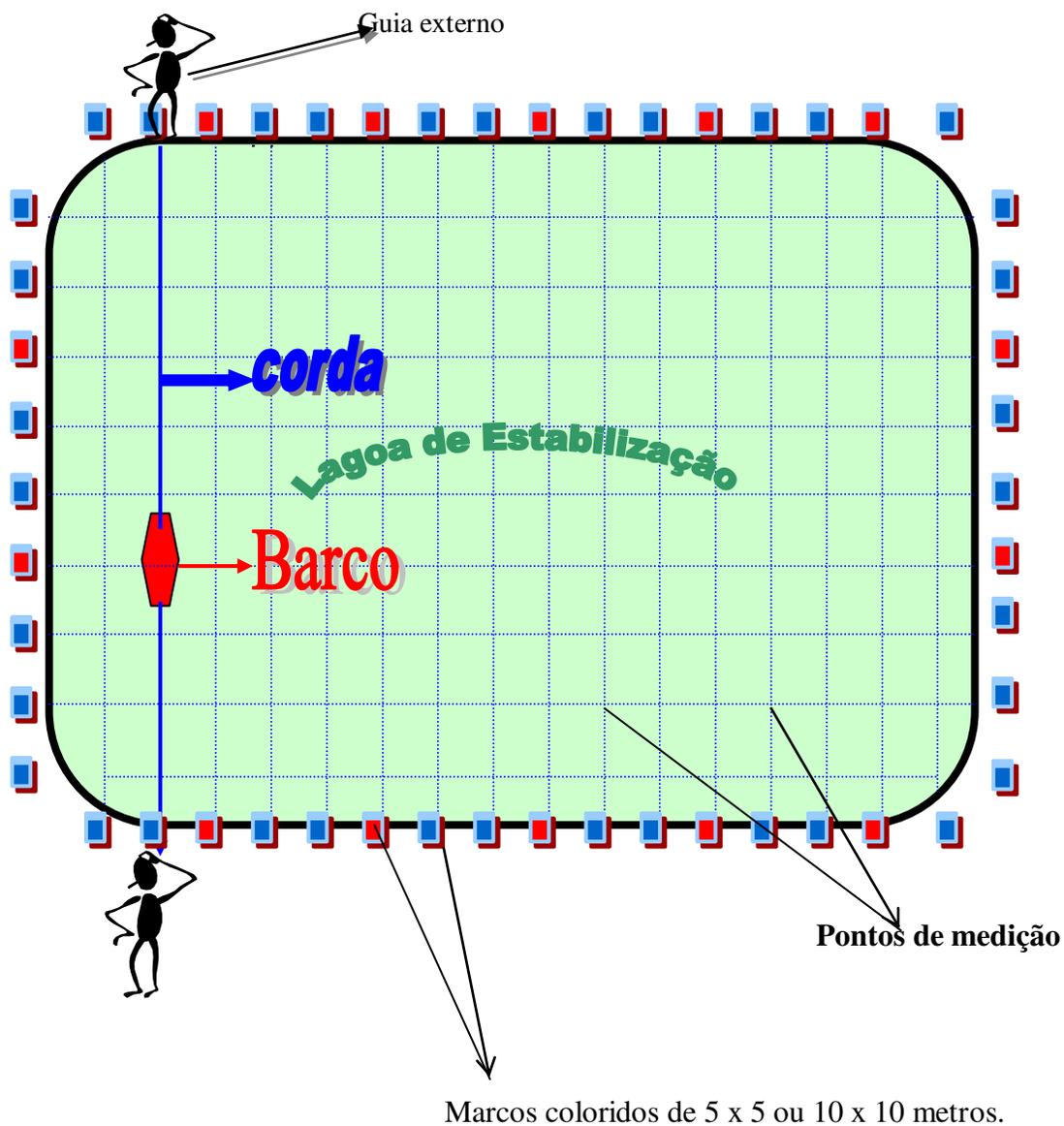
pontos de intersecção (das linhas pontilhadas verticais com as horizontais) determinam os locais onde ocorrerão as medidas (pontos de medição ou PM);

- A distância entre as linhas pontilhadas (normalmente 5 ou 10 metros) deve ser tal que a relação entre o número total de pontos de medição (PM) gerados e a área superficial da lagoa não seja inferior a 1 PM/100 m² da área superficial;
- A distância adotada entre as linhas define o tipo de medição. O tipo de medição relaciona a distância entre as linhas verticais e horizontais respectivamente. O tipo de medição 5 x 5 m significa que a distância entre as linhas verticais é 5 m e entre as horizontais é 5 m;
- Para chegar aos vários pontos de medida, distribuídos sobre o espelho d'água, uma pessoa se coloca dentro de um pequeno barco amarrado por corda. Estas cordas servem para arrastar, na horizontal, o barco de uma margem à outra;
- O deslocamento do barco é efetuado por duas pessoas frontalmente posicionadas (uma em cada margem da lagoa) nos pequenos marcos coloridos. De uma forma compassada, quando a 1^a pessoa puxar a corda, a outra, colocada na margem frontal, solta-a de 5 em 5 metros ou de 10 em 10 metros (de acordo com a área superficial da lagoa). Esta operação coloca, sucessivamente, o barco sobre todos os pontos de medição (PM) inicialmente estipulados para a linha horizontal em questão. Mantêm-se as cordas sempre esticadas, para o barco permanecer em seu traçado delineado;
- Simultaneamente, a pessoa do barco (medidor) auxilia seus guias externos (fazendo-os parar ou movimentar o barco), tendo como referência os marcos coloridos postos na lateral horizontal. A orientação do medidor funcionará como um ajuste final que estancará o barco sobre os locais corretos (PM);
- Quando o barco se encontrar na outra margem da lagoa (após ter varrido toda extensão de uma linha), passa-se à próxima linha horizontal. As duas pessoas caminham para o marco seguinte;

- **Medição da Lâmina d'água:** Atingido o ponto de medição (PM), para-se o barco e mede-se a profundidade da lâmina de água utilizando um cordão com escala em cm. Este cordão possui em sua extremidade um disco de metal com perfurações. Na outra ponta do cordão, o medidor controla manualmente a descida gradual do disco até o manto de lodo ser atingido. Estica-se com cuidado o cordão (para que o disco não se desprenda do lodo) e faz-se a leitura da lâmina de água deste PM. Em seguida, o valor é anotado na planilha de anotações métricas;
- **Medição da profundidade total da lagoa:** Utilizando-se uma haste rígida e graduada, atravessa-se o manto de lodo até tocar o fundo da lagoa. Mantém-se a haste na vertical e faz-se a leitura. Em seguida, o valor é anotado na planilha de anotações métricas;
- **Apresentação das Medidas e Cálculos:** Para a apresentação das medidas efetuadas, elabora-se um croqui da lagoa. As linhas pontilhadas horizontais são identificadas por números, e as linhas verticais por letras. No croqui são identificadas as entradas (afluente) e saídas (efluentes) da lagoa;
- As medidas são tabeladas e identificadas pela coordenada (letra, número) da lagoa. Com a média aritmética destes pontos, define-se um valor único da profundidade total da lagoa (PTL);
- Calcula-se, então, a média de lodo por linha horizontal;
- Para uma visão mais ilustrativa das condições de deposição de lodo na lagoa, elabora-se, o perfil longitudinal e plota-se um gráfico das alturas médias de lodo.

Na figura 4.8, são apresentados os pontos na ETE para a realização da batimetria.

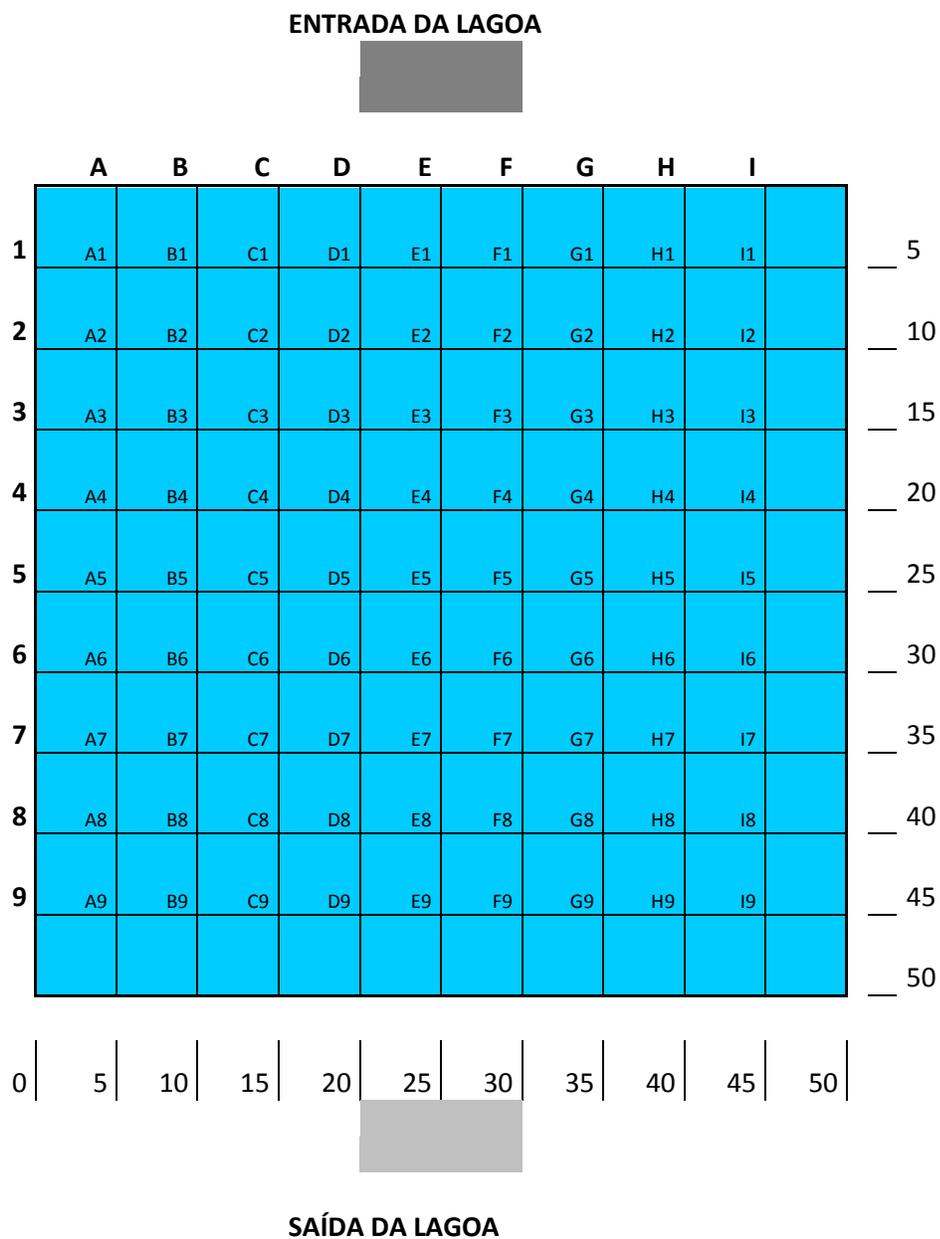
Figura 4.8 - Modelo para realização de batimetria



Fonte: AUTOR (2008).

O esquema pronto para a batimetria da ETE Pedregulho e a sua realização, são apresentados nas figuras 4.9 e 4.10.

Figura 4.9 - Esquema utilizado para a realização das batimetrias da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho



Fonte: AUTOR (2008).

Figura 4.10 - Demarcação da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho (2008), utilizando-se a trena e tinta (5m)



Fonte: AUTOR (2008).

Nas figuras 4.11 e 4.12 são apresentados equipamentos utilizados na batimetria (haste rígida para medição do fundo da lagoa anaeróbia e disco para medir a altura entre a lâmina d'água e início do lodo).

Figura 4.11 - Haste rígida para medição do fundo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho (2008)



Fonte: AUTOR (2009).

Figura 4.12 - Disco para a realização das medidas da lâmina d'água da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho



Fonte: AUTOR (2008).

4.3 PREPARAÇÃO DO LOCAL

O local a ser instalado o *bag* foi na área da ETE, ao lado das lagoas anaeróbias e facultativas. Conforme se constata nas Figuras 4.13 à 4.16, foi acertado o terreno com máquina, impermeabilizado o fundo das células com lona plástica de 200 micrômetros de espessura e com 12 metros de largura e 35 metros de comprimento, totalizando 420 metros quadrados cada célula, visando à não infiltração/percolação do efluente. Para que o *bag* pudesse ter um bom desaguamento, foi necessária a colocação de 30 m³ de pedra brita n.º 1 por cima de cada célula, somando-se assim, 60 m³ para as duas células da lagoa de Pedregulho com uma altura de 10 cm. No local houve a construção de duas células de 10 metros de largura por 34 metros de comprimento, com declive máximo de 0,5% no sentido longitudinal da unidade para a acomodação dos *bags*.

O escoamento foi dirigido para um local (tipo tanque) também impermeabilizado com lona plástica de 200 micrômetros de espessura, com medida de 4,10 x 2,95 metros

por 1,00 metro de profundidade, procedendo-se, a seguir, ao bombeamento deste material percolado para a lagoa facultativa. O polímero se encontrava dentro de caixas (tipo caixas d'água) e era adicionado ao lodo na tubulação de bombeamento.

Figura 4.13 - Início da preparação do local dos *bags* – ETE Pedregulho em 19/11/2008



Fonte: AUTOR (2008).

Antes de o lodo ser enviado para o *bag*, foi preparado um local impermeabilizado, de 12 m³, semelhante a um tanque de homogeneização, coberto com lona plástica, de medidas idênticas ao tanque do percolado (4,10 x 2,95 metros por 1,00 metro de profundidade), visando-se receber este lodo da draga que era bombeada da lagoa anaeróbia e adicionar o polímero posteriormente, quando depois era bombeado para o *bag*.

Além do ponto de energia elétrica, foi disponibilizado um gerador de energia e um contêiner de aço com medidas de 6,00 metros de comprimento por 2,40 metros de largura, com abertura total em uma das laterais (de 2,40 m) para passagem de equipamentos, instalação de bomba para o polímero e gerador de energia elétrica, podendo também servir de abrigo e depósito para guardar equipamentos e ferramentas utilizadas na limpeza da lagoa.

Figura 4.14 - Preparação do local a ser instalado um dos *bags* – ETE Pedregulho em 20/11/2008



Fonte: AUTOR (2008).

Figura 4.15 - Preparação do local com lonas e pedra brita – ETE Pedregulho em 27/11/2008



Fonte: AUTOR (2008).

Figura 4.16 - Gerador, container, caixas de adição de polímero e caixa de recebimento de lodo da draga para posterior envio para o *bag* (11/12/2008)



Fonte: AUTOR (2008).

4.3.1 Tipos de *bags* utilizados

Durante a pesquisa foram utilizados 03 *bags* diferentes, os quais, visando preservar seus fornecedores, foram denominados *Bag Nacional*, *Bag Importado* e *Bag Alternativo*.

O *Bag Nacional* media 11,00 metros de comprimento por 5,00 metros de largura. As características técnicas específicas exigidas pela Sabesp foram de um *bag* para desidratação de lodo biológico, de geotêxtil de alta resistência e pequenos poros, com a propriedade de retenção (contenção e desidratação) dos grãos de lodo biológico e a exigência de que o excesso de água do lodo fosse drenado.

O *Bag Importado* media 30,00 metros de comprimento por 8,30 metros de largura com um volume útil de 365 m³ (base seca). Foi fabricado com a utilização de tubos de geotêxtil, tecido de alta resistência, e com dois dispositivos de enchimentos contendo

flanges circulares de PVC, juntas de vedação de neoprene e mangas de tecido flexível, projetados para melhorar o desempenho da tecnologia de desaguamento. Os *bags* Importado e Nacional estão evidenciados na Figura 4.17 e 4.18.

Figura 4.17 - *Bag* Importado (à esquerda) e *Bag* Nacional (à direita)



Fonte: AUTOR (2008).

Figura 4.18 - Fotos do *Bag* Nacional antes e depois de receber lodo



Fonte: AUTOR (2008).

O *Bag* Alternativo de dimensão de 6,00 x 4,00 metros foi instalado pela Sabesp visando a um teste para com seu fornecedor. É um produto de geotecido com formato de bolsa (saco) em tecido com fios resinados, fibrilizados e retorcidos, com costuras

feitas com o mesmo material do tecido (Figura 4.19). É constituído de um material mais leve e, por isso, mais fácil de manuseio quanto à instalação na célula, mas, por outro lado, se torna mais frágil à ação de vandalismo.

Figura 4.19 - Foto dos *bags*: Alternativo (branco) no início de seu enchimento e Importado (preto) ainda vazio (16/12/2008)



Fonte: AUTOR (2008).

Foram feitos testes de enchimento com o *Bag* Alternativo (Figura 4.20), seguindo-se orientações do fornecedor, chegando-se à altura limite de 20% da largura do *bag*. Após esta operação, foram realizados mais 03 enchimentos a uma altura 20% maior que a estipulada pelo fornecedor, sendo que na terceira tentativa, em 14/01/2009 às 14:41h, ocorreu o rompimento nas costuras da parte de cima do *bag* (Figura 4.21).

Figura 4.20 - Foto do *Bag* Alternativo depois de receber esgotos (23/12/2008)



Fonte: AUTOR (2008).

Figura 4.21 - Foto do *Bag* Importado depois de receber esgotos e do *Bag* Alternativo aberto (19/02/2009)



Fonte: AUTOR (2009).

Mesmo assim, neste estudo, pretende-se verificar o comportamento do lodo exposto ao sol (*bag* rompido) com o lodo dos demais *bags* instalados e efetuar a caracterização, visando-se à aplicação agrícola e comparando-se com os demais *bags*.

4.4 PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DA RETIRADA DO LODO

O lodo foi retirado em três etapas: a primeira ocorreu entre os dias 11/12/2008 e 24/12/2008 (inclusive), a segunda etapa ocorreu entre os dias 05/01/2009 e 15/01/2009 (inclusive) e a terceira etapa ocorreu entre os dias 27/01/2009 e 01/02/2009 (inclusive).

No início do processo de retirada, no período compreendido entre 11/12/2008 e 05/01/2009, a draga chegava até o fundo da lagoa para a retirada do lodo; porém, como se verificou que os *bags* estavam se saturando bem mais rápido do que o projetado, optou-se, no período de 06/01/2009 até 01/02/2009, por afundar a draga no máximo 1,5m de profundidade, visando-se percorrer por toda a extensão da lagoa anaeróbia.

Normalmente ocorria bombeamento 2 vezes por dia em cada *bag*. Para o *Bag* Nacional, bombeava-se em torno de 20 minutos por vez, até o *bag* chegar à altura de 1,40m; para o *Bag* Alternativo, era bombeado em torno de 10 minutos por vez até o *bag* chegar em 0,80cm ou 1,00, conforme teste feito pela Sabesp e, para o *Bag* Importado, era bombeado normalmente das 08h20min às 11h50min e das 13h30min às 17h30min.

4.4.1 Polímero

Devido à necessidade de adição de polímero como agente coagulante, de forma a promover a separação da fase líquida da fase sólida dentro dos *bags*, foi adicionado o produto de nome “Copolímero aquoso de acrilamida e derivado de ácido acrílico em emulsão de hidrocarbonetos alifáticos” numa concentração de 0,8% ou seja, 20 kg para cada 2500 litros de água (Figuras 4.22 e 4.23).

Figura 4.22 - Polímero utilizado no lodo bombeado (baldes de 20 kg)



Fonte: AUTOR (2008).

Figura 4.23 - Caixas de mistura de polímero – ETE Pedregulho



Fonte: AUTOR (2008).

O ponto de aplicação do polímero se dava numa tubulação acoplada ao mangote de saída de lodo (Figura 4.24), com um caminho preferencial do tipo curva utilizando-se

cotovelos de 90°, visando-se obter um tempo de mistura do polímero no lodo antes de ir para o *bag* e com um posterior ponto de coleta (tipo torneira).

Figura 4.24 - Ponto de aplicação de polímero – ETE Pedregulho



Fonte: AUTOR (2008).

4.4.1.1 Avaliação preliminar do polímero

A vazão bombeada de polímero girou em torno de 200 a 400 l/h, dependendo da densidade do lodo. Foi realizado uma avaliação preliminar do polímero pela Sabesp ETE-Franca (ensaio de coagulação de lodo com polieletrólito) conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Avaliação Preliminar de Polímero usado no lodo – ETE Pedregulho

Dens.(Polieletrólito) = +/- 0,95 g/l Dens.(Lodo) = +/- 0,9903 g/l

Em uma massa de 2000 ml de lodo, seu peso total = 1980,3 g. Pesar 0,3% de polieletrólito = ~ 6g: Diluídos em 1000 ml e aplicando-se 100 ml desta solução*¹, obtêm-se 300ppm ou 0,03% (total) dobro do processo utilizado na operação.

***¹ Dens.= 0,9086 g/l**

| Tempo | Desenvolvimento (Ocorrências) |
|--------------|---|
| Início | Difícil ao manuseio, porém de fácil diluição. Com aproximadamente 30 m. foi à diluição total, não apresentando grumos. Porém, estes podem ocorrer, se houver um contato com água antes da diluição em si. 300 rpm. |
| 05´ | Visualmente sem alteração |
| 10´ | Visualmente sem alteração |
| 15´ | Visualmente sem alteração |
| 20´ | Visualmente sem alteração, passando a 150 rpm. |
| 25´ | Flocos mais nítidos, porém pequenos |
| 30´ | Visualmente sem alteração |
| 35´ | Massa e fase (clarificado) |
| 40´ | Início de decantação; tempo de decantação 5 m. |
| 45´ | Lodo coagulado sem possibilidade de medir turbidez e cor |
| 50´ | Idem |
| 55´ | Após 15 m (aproximadamente > 1cm de clarificado) |

Turbidez após centrifugação em rotação máx. (07) durante 15 m. = (242 NTU) Cor = (>550 UC)

Fonte: SABESP (2008).

4.4.2 Bombeamento

Na primeira etapa do processo, foi realizada uma dragagem por sucção de areia e lodo biológico existentes no interior da lagoa, para uma primeira caixa, para depois ser bombeado aos *bags* (Figura 4.25). Na contratação realizada pela Sabesp, foi prevista a remoção de 1500 m³ de lodo para os *bags*. Também foi previsto que o volume a ser dragado para enchimento dos respectivos *bags* seja pelo menos o dobro da capacidade acima citada, em função da operação de bombeamento, aplicação de polímero e drenagem. A vazão real da draga contratada foi de, no máximo, 100 m³/h, suficiente para bombear lodo e areia, de modo a garantir uma boa dosagem de polímero e a mistura do lodo de forma eficiente, prevendo-se também a utilização de um mangote (tubulação flexível) com comprimento suficiente para interligar a draga ao tanque de mistura e o tanque de mistura aos *bags*.

Figura 4.25 - Draga para bombeamento da lagoa anaeróbia para a caixa de mistura – ETE Pedregulho



Fonte: AUTOR (2008).

A boca de entrada do *Bag* Nacional ficava a uma distância de 15,80 metros, sendo utilizado um mangote de 3 polegadas com 25,00 metros de comprimento e as bocas de entrada do *Bag* Importado ficavam a uma distância de 41,80 metros e 58,00 metros respectivamente, sendo utilizado um mesmo mangote de 3 polegadas com 76,20 metros de comprimento nas duas bocas.

O bombeamento era feito por bomba submersível instalada no tanque de homogeneização no qual os operadores alternavam seu destino, manualmente, para os *bags* a ser bombeado, visando a não danificá-los por estarem muito cheios (visa a não estourar ou rasgar), de acordo com Figura 4.26. A potência da bomba do tanque era de 2,0 CV e a vazão máxima era de 66 m³/h, com altura manométrica de 13 mca. Esta bomba submersível teve que ser substituída por outra com as mesmas especificações técnicas na parte final do bombeamento devido a problemas de manutenção.

Figura 4.26 - Lodo dragado para depois ser bombeado para os *bags* pela bomba instalada no tanque – ETE Pedregulho



Fonte: AUTOR (2008).

Conforme se percebe na Figura 4.27, a bomba de adição de polímero era do tipo helicoidal de 1 m³/h (vazão máxima em 60 Hertz).

Foram instalados horímetros nas bombas do poço e do polímero, e realizadas as leituras diárias, além de ser efetuado um teste de vazão da bomba do poço quando era bombeado para o *Bag* Nacional e para o *Bag* Importado.

Figura 4.27 - Bomba utilizada para o polímero – ETE Pedregulho



Fonte: AUTOR (2008).

4.4.3 Retração volumétrica do lodo no *bag*

O bombeamento para os *bags* teve início em 11/12/2008 e término em 01/02/2009.

No início do bombeamento foram instalados hidrômetros para medir o volume do líquido percolado que sai de cada *bag*; porém, como as leituras estavam imprecisas devido a sujeiras nos hidrômetros e pouco volume de líquido percolado, os hidrômetros

foram retirados. A partir de 23/12/2008, iniciou-se a metodologia de medir as alturas dos *bags* para verificar seu comportamento. Essas medições foram realizadas em 05 pontos no *Bag* Nacional, cuja extensão total é de 11 metros, em 8 pontos de medição para o *Bag* Importado, cuja extensão é de 29 metros e em 5 pontos para *Bag* Alternativo até o dia de seu rompimento.

As medições diárias dos *bags* Nacional e Importado se prolongaram até o dia 25/03/09, dois meses após término do bombeamento sendo que, à partir de 06/07/09 iniciou-se novas medições com o intuito de se verificar se houve alterações nas alturas do lodo no interior do *bag*, permanecendo estas medições, até 26/02/2010, ou seja, até 11 meses após o bombeamento ser interrompido. Neste segundo período de medição, como as alturas quase não se variavam, houve um espaçamento entre os dias de execução das medições.

Pretende se verificar com estas medições o comportamento de cada *bag* com relação à permeabilidade, resultante do entupimento dos poros e dos espaços vazios de cada *bag* utilizado, bem como sua produtividade com relação à retenção de sólidos no interior do *bag* pela sua área. Também se pretende analisar o material percolado que retorna para a ETE.

Os líquidos que percolavam dos *bags* (Figura 4.28) foram destinados para um tanque e bombeados para a lagoa facultativa da ETE Pedregulho, automaticamente, utilizando-se sistema de bóias. Pretende-se também, realizar análise do percolado de cada *bag* para os itens: Sólidos Totais, Coliformes, DBO, DQO, cor, pH, turbidez e metais.

Figura 4.28 - Foto do percolado do *Bag Nacional*



Fonte: AUTOR (2008).

4.5 PROCEDIMENTO DE COLETAS, ENSAIOS E ANÁLISES

As coletas foram realizadas de forma a preservar as características do material a ser analisado sendo que algumas foram realizadas conforme especificações dos laboratórios contratados para realização das análises.

A Figura 4.29, mostra a realização de uma coleta do material que percolava dos *bags*.

Figura 4.29 - Coleta de amostra do percolado do *Bag* Importado



Fonte: AUTOR (2008).

4.5.1 Tipos de coletores

Para coleta de lodo no interior da lagoa anaeróbia, foi preparado um coletor do tipo seringa, com peças de PVC (tubo de PVC de 2" com outro tubo interno, formando uma espécie de êmbolo e funcionando como um pistão à vácuo, para cujo interior o lodo era succionado), desenvolvido pela equipe operacional da Sabesp de Pedregulho, conforme Figura 4.30. Neste coletor havia as marcações das alturas para se obter as amostras na profundidade desejada.

Figura 4.30 - Coletor de lodo do tipo êmbolo para o interior da lagoa



Fonte: AUTOR (2008).

Para a coleta de lodo no interior do *bag*, foi preparado um coletor de tubo de PVC de 2" com um corte do tipo dente para o tubo entrar vazio no *bag* e sair cheio de lodo, dentro das diversas alturas, conforme demarcação no seu exterior (Figura 4.31).

Figura 4.31 - Coletor para extrair lodo do interior dos *bags*



Fonte: AUTOR (2008).

Para coleta de efluente na entrada e saída da ETE foi utilizado um tambor de 50 litros com uma jarra de 1,5 litros, conforme Figura 4.32.

Figura 4.32 - Tambor e jarra para coleta de amostras da entrada e saída da lagoa



Fonte: AUTOR (2009).

Para o ensaio de respirometria, conforme se visualiza na Figura 4.33, foi utilizada uma cavadeira para retirada de solo, visando-se a uma aplicação deste lodo na agricultura. Os lodos de dentro dos *bags* foram acondicionados em sacos plásticos transparentes.

Figura 4.33 - Cavadeira para coleta de solo



Fonte: AUTOR (2009).

Para a retirada e transporte do lodo do *Bag* Alternativo que estava exposto ao sol (rasgado) visando a análise de ovos de helmintos e, cistos e oocistos de protozoários, foram elaborados quatro recipientes feitos com tubo PVC de 2" e dois tampões em cada lado, marcando-se com uma flecha o lado de cima da barreira de lodo (Figura 4.34). Visando a respirometria, neste *bag*, foi realizada coleta de lodo à mão e/ou com o auxílio de uma pá.

Figura 4.34 - Coletor de lodo do *Bag Alternativo*



Fonte: AUTOR (2009).

Para a coleta do material percolado no fundo do tanque, foi utilizado um tubo de PVC (Figura 4.35), que era tampado na sua extremidade, inserido no local desejado, solto para substituir o ar pelo líquido, tampado novamente para a retirada do material e solto para escorrer para um balde de coleta.

Figura 4.35 - Tubo de PVC para retirada do material percolado



Fonte: AUTOR (2009).

Em todos os coletores, frascos, baldes, etc., foram realizadas as devidas assepsias (Figura 4.36), lavando-os e desinfetando-os com água e cloro. Para algumas amostras, visando-se à realização de análises bacteriológicas, foram disponibilizados frascos por parte do laboratório da Sabesp de Franca.

Figura 4.36 - Assepsia dos frascos e baldes



Fonte: AUTOR (2008).

Também foram disponibilizadas outros tipos de frascos (Figura 4.37) e caixas de isopor com placas de gelo visando-se armazenar os frascos e transportá-los, à temperatura de 4 °C.

Figura 4.37 - Coleta de amostras (24/11/2008)



Fonte: AUTOR (2008).

4.5.2 Métodos de análises e ensaios

São apresentadas abaixo as metodologias analíticas utilizadas nos ensaios realizados de amostras de lodos do interior da lagoa e de dentro do *bag*, do material percolado e da entrada e saída da lagoa anaeróbia:

4.5.2.1 Lodo no interior da Lagoa Anaeróbia

4.5.2.1.1 Norma ABNT NBR 10.004:2004

LIXIVIAÇÃO, SOLUBILIZAÇÃO E MASSA BRUTA (FÍSICO-QUÍMICOS)

Técnicas adotadas: "*Standard Methods for the Examination of Water and Wast Water*", última edição da *American Public Health Association (APHA)*, da *American Water Works Association (AWWA)* e da *Water Pollution Control Federation (WPCF)*.
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ORGÂNICOS - SOLUBILIZADO (SVOC) – Tabela 4.2

Tabela 4.2 – NBR 10.004/04 - Orgânicos – Solubilizado (SVOC)

| Compostos | Método |
|------------------------------|---------------|
| Aldrin e Dieldrin | EPA 8270 |
| Clordano (todos os isômeros) | EPA 8270 |
| 2,4 -D | EPA 8151 |
| DDT (todos os isômeros) | EPA 8270 |
| Endrin | EPA 8270 |
| Fenóis totais | EPA 8270 |
| Heptacloro e seu epóxido | EPA 8270 |
| Hexaclorobenzeno | EPA 8270 |
| Lindano (γ-BHC) | EPA 8270 |
| Metoxicloro | EPA 8270 |
| Toxafeno | EPA 8270 |
| 245 -T | EPA 8151 |
| 245 -TP | EPA 8151 |

Fonte: ABNT (2004).

ORGÂNICOS - LIXIVIADO (VOC) - Tabela 4.3

Tabela 4.3 - NBR 10.004/04 - Orgânicos - Lixiviado (VOC)

| Compostos | Método |
|--------------------------|---------------|
| 1,1 – Dicloroetileno | EPA 8260 |
| 1,2 – Dicloroetano | EPA 8260 |
| 1,4 – Diclorobenzeno | EPA 8260 |
| Benzeno | EPA 8260 |
| Cloreto de vinila | EPA 8260 |
| Clorobenzeno | EPA 8260 |
| Clorofórmio | EPA 8260 |
| Hexaclorobutadieno | EPA 8260 |
| Tetracloroeto de carbono | EPA 8260 |
| Tetracloroetileno | EPA 8260 |
| Tricloroetileno | EPA 8260 |
| 2-butanona | EPA 8260 |

Fonte: ABNT (2004).

ORGÂNICOS - LIXIVIADO (SVOC) - Tabela 4.4

Tabela 4.4 - NBR 10.004/04 - Orgânicos - Lixiviado (SVOC)

| Compostos | Método |
|---------------------------------|---------------|
| 2,4 D | EPA 8151 |
| 2, 4 -Dinitrotolueno | EPA 8270 |
| 2,4,5 – T | EPA 8151 |
| 2,4,5 – TP | EPA 8151 |
| 2,4,5 - Triclorofenol | EPA 8270 |
| 2,4,6 - Triclorofenol | EPA 8270 |
| Aldrin + Dieldrin | EPA 8270 |
| Benzo (a) pireno | EPA 8270 |
| Clordano (todos os isômeros) | EPA 8270 |
| DDT (p,p'DDT + p,p'DDD+p,p'DDE) | EPA 8270 |
| Endrin | EPA 8270 |
| Heptacloro e seus epóxidos | EPA 8270 |
| Hexaclorobenzeno | EPA 8270 |
| Hexacloroetano | EPA 8270 |
| Lindano | EPA 8270 |
| m-Cresol | EPA 8270 |
| Metoxicloro | EPA 8270 |
| Nitrobenzeno | EPA 8270 |
| o-Cresol | EPA 8270 |
| p-Cresol | EPA 8270 |
| Pentaclorofenol | EPA 8270 |
| Piridina | EPA 8270 |
| Toxafeno | EPA 8270 |

Fonte: ABNT (2004).

4.5.2.1.2 Resolução CONAMA 344 de 25/03/2004 - MMA

Os itens da Resolução CONAMA 344/04 – MMA estão apresentados nas Tabelas 4.5 à 4.8, de acordo com sua caracterização.

Tabela 4.5 - CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Metais Pesados e Arsênio

| Parâmetro | Método |
|------------------|----------------------|
| Arsênio | USEPA - 6010 B |
| Cádmio | USEPA – 6010 C |
| Chumbo | USEPA – 6010 C |
| Cobre | USEPA – 6010 C |
| Cromo | USEPA – 6010 C |
| Mercúrio | USEPA – 7471 |
| Níquel | USEPA - 6010 B |
| Zinco | USEPA-SW 846 - 6010C |

Fonte: BRASIL (2004).

Tabela 4.6 - CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Carbono Orgânico Total e Nutrientes

| Parâmetro | Método |
|---------------------------|-------------------------------|
| Carbono Orgânico Total | KIEHL (1979) e EMBRAPA (1999) |
| Nitrogênio Kjeldahl Total | SM 4500 N og-B SM 4500P.F |
| Fósforo Total | USEPA 3050B/1996 |

Fonte: BRASIL (2004).

Tabela 4.7 - CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

| Parâmetro | Método |
|-------------------------|---------------|
| Benzo (a) Antraceno | EPA 8270 D |
| Benzo (a) Pireno | EPA 8270 D |
| Criseno | EPA 8270 D |
| Acenafteno | EPA 8270 D |
| Antraceno | EPA 8270 D |
| Fenantreno | EPA 8270 D |
| Fluoranteno | EPA 8270 D |
| Fluoreno | EPA 8270 D |
| 2 – Metilnaftaleno | EPA 8270 D |
| Naftaleno | EPA 8270 D |
| Pireno | EPA 8270 D |
| Dibenzo (a,h) Antraceno | EPA 8270 D |

Fonte: BRASIL (2004).

Tabela 4.8 - CONAMA 344/04 - Caracterização Química - Pesticidas Organoclorados

| Parâmetro | Método |
|------------------------|---------------|
| BHC (alta - BHC) | EPA 8081B |
| BHC (beta - BHC) | EPA 8081B |
| BHC (Delta - BHC) | EPA 8081B |
| BHC (Gama-HC/lindano) | EPA 8081B |
| Clordano (Alfa) | EPA 8081B |
| Clordano (Gama) | EPA 8081B |
| DDD | EPA 8081B |
| DDE | EPA 8081B |
| DDT | EPA 8081B |
| Dieldrin | EPA 8081B |
| Endrin | EPA 8081B |
| Bifenilas Policloradas | EPA 8082 A |

Fonte: BRASIL (2004).

4.5.2.1.3 Outros

São apresentados abaixo outros métodos analíticos utilizados nos ensaios de amostras de lodos do interior da lagoa:

Metais: USEPA 6010 B – *Inductively Coupled Plasma (ICP) Method*.

Coliformes Totais e *E. coli*: realizados no laboratório da Sabesp ETE Franca, foi utilizada a instrução de trabalho ITT-0046 V.1, conforme método certificado pela ISO 9001-2000.

Umidade (60 – 65°C), carbono orgânico e nitrogênio kjeldahl: o ensaio foi determinado segundo procedimento do MAPA, Instrução Normativa n.º 28 (Manual de

Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos).

Sólidos Totais/Umidade: SMEWW 2540 – *B Total Solids Dried at 103 – 105 °C*

Fósforo Total: SMEWW 4500 – P – B – Sample Preparation (Sulfuric Acid-Nitric Digestion) / SMEWW 4500 – P – C – Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric method.

4.5.2.2 Lodos armazenados dentro dos *bags*

4.5.2.2.1 Respirometria

Foram realizadas análises conforme método respirométrico de Bartha com adaptações, de acordo com a Norma CETESB P4230/99, para determinação do potencial uso na agricultura. Neste caso, foi pesquisado 1 ponto (coleta composta), com 4 repetições e 3 taxas de aplicação agrícola. Para realização dos ensaios nas taxas determinadas, o solo é incubado com amostra de lodo em 3 concentrações diferentes (10 t/ha, 20 t/ha e 40 t/ha) além de um grupo controle com açúcar e água destilada. A amostra de solo coletada é peneirada para retirada das partículas grosseiras. O experimento consiste na quantificação diária da produção de CO₂ pelo processo metabólico da microbiota do solo no consumo da matéria orgânica. É verificado junto a estas amostras, as análises do lodo e do solo quanto a concentração de C e N e a umidade do lodo.

4.5.2.2.2 Ovos de Helmintos e Cistos de Protozoários

A metodologia adotada nas análises de lodo de esgoto seguiu as recomendações dos métodos de YANKO (1987) modificado e RITCHIE (1948). As análises foram realizadas no Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp e os procedimentos adotados durante as análises foram:

1 - Concentração do afluente e efluente: As amostras compostas de efluentes e afluentes da lagoa foram coletadas e armazenadas separadamente em tambores de 50 litros, por 24 horas. Após este período, foi desprezado o sobrenadante, e o sedimento resultante, foi transferido para frascos plásticos, tampados e posteriormente armazenados a 4° C;

2 - Quantificação dos ovos de Helmintos: A técnica de YANKO (1987) modificada foi utilizada para processamento das amostras;

3 - Avaliação da viabilidade de helmintos nas amostras coletadas: Após o processamento das amostras de lodo, afluente e efluente pela técnica de YANKO (1987), uma alíquota do material processado foi transferida para um tubo de ensaio contendo solução ácida a 0,1 N, nele permanecendo por 28 dias. Após este período, as amostras foram examinadas em microscópio binocular;

4 - Avaliação de cistos de protozoários: Utilizou-se de forma experimental a técnica de RITCHIE (1948): centrífugo-flutuação com formalina e acetato de etila ou éter. Técnica normalmente utilizada em processamento de amostras em laboratórios de análises clínicas.

4.5.2.2.3 Resolução CONAMA 375/2006 - MMA

A metodologia adotada nas análises de lodo de esgoto deverá estar de acordo com o Anexo II da Resolução CONAMA 375/2006 - MMA:

1. Quanto à determinação de substâncias inorgânicas: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn nas amostras de lodo de esgoto ou produto derivado e de solo, deve-se empregar os métodos 3050 e 3051, estabelecidos no *U.S.EPA SW-846*.

2. Quanto à determinação da fertilidade do solo – pH, matéria orgânica, P, Ca, K, Mg, Na, H+Al, S, CTC e V%: As determinações de pH, matéria orgânica, P, Ca, K, Mg, Na, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e

porcentagem de saturação em bases (V%) nos solos deverão ser realizadas de acordo com procedimento estabelecido por RAIJ *et al.* (2001) e pela EMBRAPA (1997);

3. Quanto à determinação de pH, Umidade, Carbono orgânico, N total, N Kjeldahl, N amoniacal, N nitrato/nitrito, P total, K total, Ca total, Mg total, S total, Na total, e Sólidos Voláteis e Totais no lodo de esgoto ou produto derivado: estas análises deverão ser realizadas de acordo com os procedimentos adotados pela *U.S. EPA SW-846*.

4.5.2.3 Material Percolado

Para as análises de material percolado dos *bags*, bem como de entrada e saída da lagoa anaeróbia, foram utilizados os seguintes métodos:

Coliformes: SMEWW 9223 B – *Enzyme Substrate Coliform Test*;

Metais: SMEWW 3120 B – *Inductively Coupled Plasma (ICP) Method*;

Cor: SMEWW 2120 C – *Spectrophotometric Method*;

DBO: SMEWW 5210 B – *5 Day BOD Test (mod)*;

DQO: SMEWW 5220 D – *Closed Reflux, Colorimetric Method*;

pH: SMEWW 4500 – H+ - B – *Electrometric Method*;

Sólidos Totais: SMEWW 2540 – *B Total Solids Dried at 103 – 105 °C*

Turbidez: SMEWW 2130 B – *Nephelometric Method*.

4.5.2.4 Afluente e Efluente da Lagoa Anaeróbia

Metais: SMEWW 3120 B – *Inductively Coupled Plasma (ICP) Method*;

Coliformes: SMEWW 9223 B – *Enzyme Substrate coliform Test*.

Para as análises de Coliformes Totais e *E. coli* realizadas no laboratório da Sabesp ETE Franca, foi utilizada a instrução de trabalho ITT-0046 v.1; e para DBO e DQO, foi utilizada a instrução de trabalho ITT-0050 v.2, conforme métodos certificados pela ISO 9001-2000.

4.6 DESEMPENHO DA ETE

Pretende-se avaliar se houve melhora no desempenho da ETE após a retirada do lodo da lagoa anaeróbia, como, por exemplo, remoção de DBO e DQO, bem como verificar, pela batimetria, o comportamento do lodo remanescente após a retirada, verificando-se a existência ou não de curtos-circuitos.

Para se determinar as características do efluente foram realizadas análises na entrada e na saída da lagoa anaeróbia.

Realizando análises microbiológicas e parasitológicas como, por exemplo, coliformes totais e coliformes termotolerantes, pretende-se avaliar o desempenho do efluente da lagoa anaeróbia e da ETE Pedregulho.

4.7 LODO

Antes do lodo produzido na lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho ser removido para o *bag*, foi realizada uma batimetria visando-se verificar a quantidade a ser removida e o comportamento da célula como, por exemplo, caminhos preferenciais do efluente de entrada, zonas mortas e acomodação de areia no seu interior.

4.7.1 Caracterização do lodo segundo Norma ABNT NBR 10.004:2004 e Resolução CONAMA 344/04 - MMA

Conforme coleta executada no dia 25/11/2008 foi realizada uma caracterização do lodo conforme metodologia da ABNT NBR 10.004:2004 (completa) a qual classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, de acordo com as classes: Classe I – Resíduos perigosos, Classe II - Não perigosos,

Classe II A - Não inertes e Classe II B – Inertes, visando-se a tomadas de decisões futuras com relação à disposição final.

Foram realizados ensaios para classificação de resíduos na massa bruta do lodo, no lixiviado do lodo e no solubilizado do lodo. Esta mesma categorização foi apresentada por FRANÇA (2010) para a lagoa facultativa de Coronel Macedo.

Também foi realizada nesta mesma data, coleta para ensaios de classificação conforme Resolução CONAMA 344/04 – MMA (Avaliação do material a ser dragado).

4.7.2 Ensaios Respirométricos

Foi realizado um ensaio respirométrico, pela FEC/Unicamp, conforme coleta de lodo e de solo realizada em 11 e 12 de agosto de 2010, perfazendo um período de 6 meses após o término do bombeamento para os *bags*, visando-se à aplicação agrícola.

Utilizou-se o lodo de esgoto seco armazenado nos *bags* e o solo foi coletado numa área específica de aproximadamente 1 hectare do Centro Paula Souza do município de Igarapava visando sua utilização para plantio.

Foram realizadas coletas de solo (em torno de 20 kg) em 20 pontos diferentes da área a ser aplicada, chegando-se até a profundidade de 0,20 m. As amostras de solo foram compostas em sacos e enviadas para o Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp. Conforme já mencionado no item **4.5.1**, os lodos de dentro dos *bags* foram acondicionados em sacos plásticos transparentes.

O lodo foi submetido à secagem em centrífuga e foi incubado ao solo para determinação do potencial de suas aplicações ao solo em cultura agrícolas. O solo utilizado para o experimento foi espalhado sobre uma superfície plana, isenta de contaminações, e deixada secar à temperatura ambiente. Durante esse período de secagem, eventuais torrões de solo foram desagregados e após a secagem o mesmo foi peneirado utilizando malha de 2,0 mm.

Foram separadas alíquotas de 500 g de solo, os quais foram misturados junto ao lodo para total homogeneização das amostras para as diferentes taxas de aplicação. Após a homogeneização do solo junto ao lodo, foram separadas 3 parcelas de 100 g de solo + lodo para ser incubadas nos respirômetros de Bartha sendo os 200 g restantes descartados para esse experimento.

As análises foram realizadas em triplicata e foi realizado também um grupo controle, na qual não foi adicionado o lodo junto ao solo.

O experimento seguiu-se por 91 dias e o período amostrado/processado ocorreu no ano de 2010 e 2011.

Após 19 meses do lodo acomodado nos *bags*, foi realizada outra respirometria conforme coleta realizada em 18/04/2012, visando-se comparar com o resultado anterior, verificar se houve alteração nas condições do lodo e do solo a ser utilizado, bem como dar suporte para uma possível aplicação em solo agrícola.

4.7.3 Caracterização do lodo conforme Resolução CONAMA 375/06 - MMA E MAPA

Pretende-se realizar uma caracterização para cada um dos três *bags* com lodo acondicionado, conforme Resolução CONAMA 375/06 - MMA, visando-se a sua destinação (aterro sanitário, reciclagem agrícola, utilização em cimenteira, etc.).

Com a caracterização do lodo, pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA, pretende-se fazer uma comparação com as exigências do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, visando-se a sua aplicação agrícola.

4.7.4 Acompanhamento dos *bags* durante o tempo

Para se realizar um monitoramento dos *bags* durante o tempo em que o lodo permaneceu em seu interior eliminando líquido, conforme citado no item **4.4.2**, foram realizadas medições rotineiras das alturas, durante e após a sua retirada, permanecendo por um período de 11 meses após o término do bombeamento, com o intuito de se verificar a porosidade, os entupimentos e o percentual de escoamento de cada *bag*.

Em virtude dos tamanhos dos *bags*, foi definido a realização de medições das alturas em 8 pontos para o *Bag* Importado, em 5 pontos para o *Bag* Nacional e em 5 pontos para o *Bag* Alternativo. Estas medições foram realizadas pelos funcionários do setor operacional da Sabesp Pedregulho e pelos funcionários contratados executantes dos bombeamentos e, ocorreram durante o período de 23/12/2008 até 25/03/2009 e de 06/07/2009 até 26/02/2010.

O propósito deste acompanhamento é: a) verificar as condições físicas de cada *bag*, a exemplo da Figura 4.38, visando o seu reaproveitamento (novo bombeamento); b) comparar os líquidos percolados de cada *bag*; c) verificar os caminhos preferenciais do lodo dentro do *bag*, a exemplo na Figura 4.39; d) comparar o resultado das respirometrias realizadas, e e) comparar o resultado dos itens semelhantes das análises realizadas pela ABNT NBR 1004:2004 e Resolução CONAMA 344/04 – MMA com o resultado das análises pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA, bem como a viabilidade de ovos de helmintos.

Figura 4.38 - Foto em 19/02/2009 do *Bag Nacional* rompido



Fonte: AUTOR (2009).

Figura 4.39 - Foto em 27/03/2009 do *Bag Importado*



Fonte: AUTOR (2009).

A análise comparativa dos ensaios realizados visa verificar o decaimento bacteriano durante o tempo em que o lodo permaneceu no *bag*, com destaque para a viabilidade de ovos de helmintos e cistos de protozoários; parasitos de potencial zoonótico; e parasitos que têm como hospedeiros definitivos ou intermediários animais utilizados na alimentação humana, fato que pode inviabilizar a futura utilização do lodo da ETE na agricultura de forragens ou pastagens.

4.8 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO / DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O projeto teve início em outubro de 2008 quando da finalização de pacote licitatório para contratação dos serviços de retirada de lodo por parte da Sabesp e da aquisição dos *bags*. Após esta data foram realizados os seguintes passos:

De 19 à 26/11/2008: Início de demarcação e preparação do local, acerto do terreno com máquinas e perfuração dos locais dos tanques;

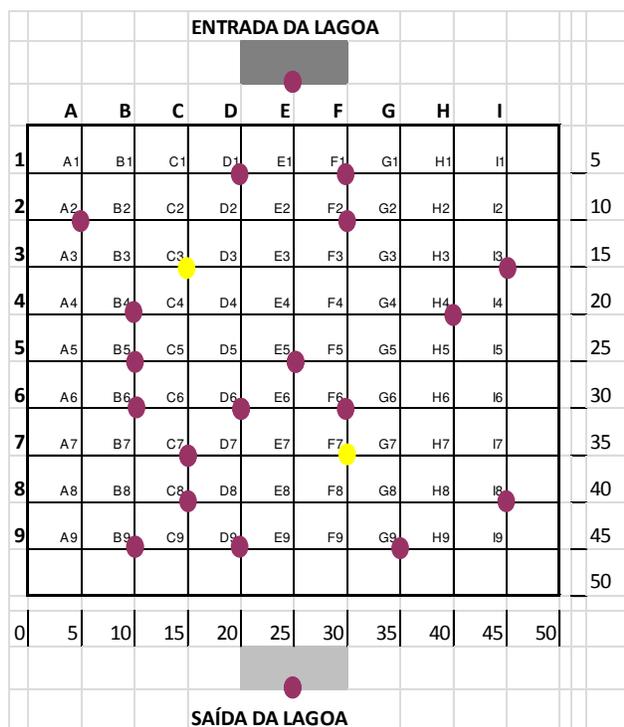
Realização de uma batimetria na lagoa anaeróbia de Pedregulho/SP no dia 24/11/2008, visando-se calcular o volume de lodo a ser retirado e o comportamento do mesmo na célula anaeróbia;

Até 11/12/2008: Colocação de lonas e pedras (dia 27/11/2008); instalação de energia elétrica, gerador, bomba, draga, *bags*, bico de água, etc.; teste no dia 10/12/2008 dos equipamentos e; início de bombeamento no dia 11/12/2008.

Dia 24/11/2008: Realização de coletas pontuais de lodo nos pontos e nas alturas definidas conforme abaixo, utilizando o mesmo quadro da realização da batimetria e demarcando os pontos neste quadro, de acordo com cada item a ser analisado:

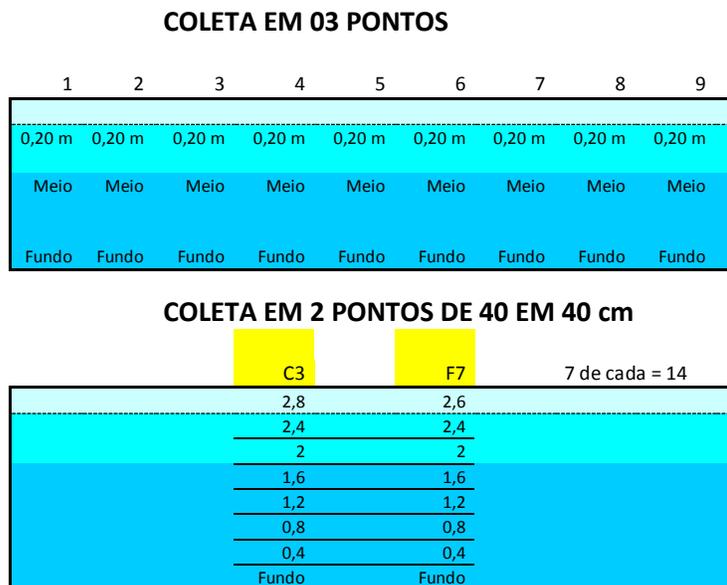
Pontos previstos para análises de Helmintos, Nitrogênio, Carbono e Areia no lodo: $18 \times 3 = 54 + (2 \times 7) = 68 + 2$ (entrada e saída) = 70 pontos (Figuras 4.40 e 4.41):

Figura 4.40 - Pontos de coletas pontuais: Helminthos, Nitrogênio, Carbono e Areia no lodo



Fonte: AUTOR (2008).

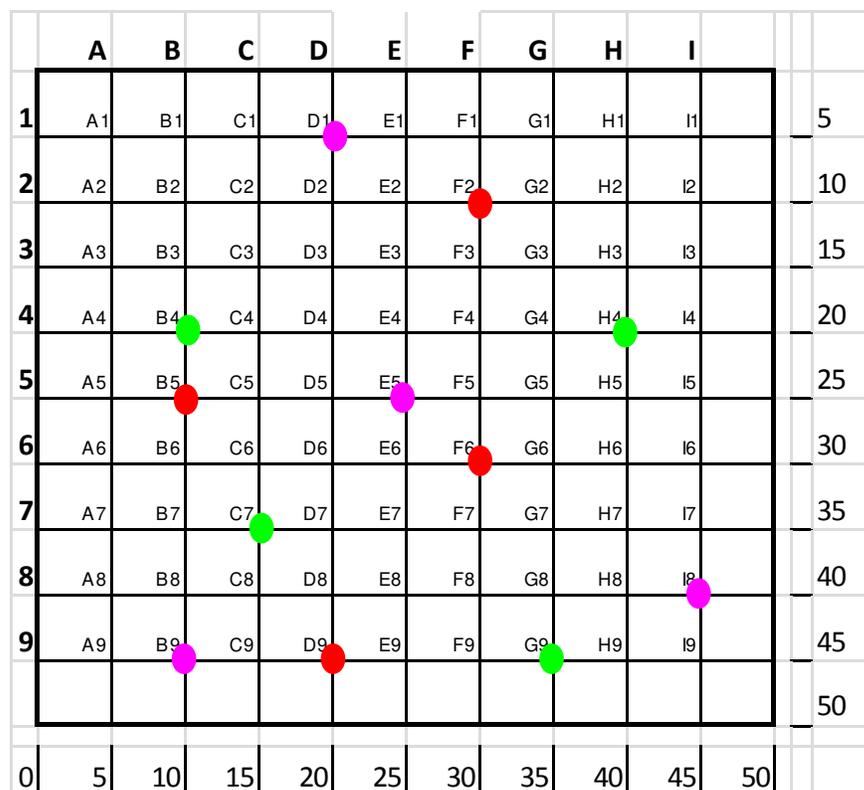
Figura 4.41- Descrição das alturas das coletas dentro da lagoa anaeróbia



Fonte: AUTOR (2008).

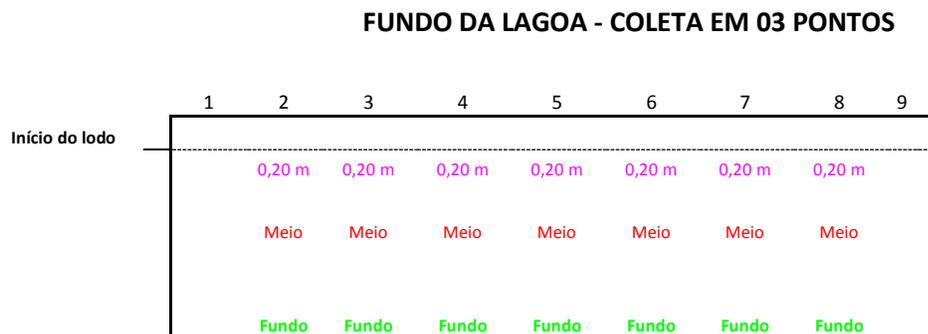
Pontos para Análise Completa pela NBR 10.004:2004 e Res. CONAMA 344/04 - MMA: TOTAL DE COLETAS: São 4 pontos para cada altura e em 3 alturas diferentes = 12 coletas em pontos diferentes (Figuras 4.42 e 4.43):

Figura 4.42 - Pontos de coletas: ABNT NBR 10.004:2004 e Res. CONAMA 344/04



Fonte: AUTOR (2008).

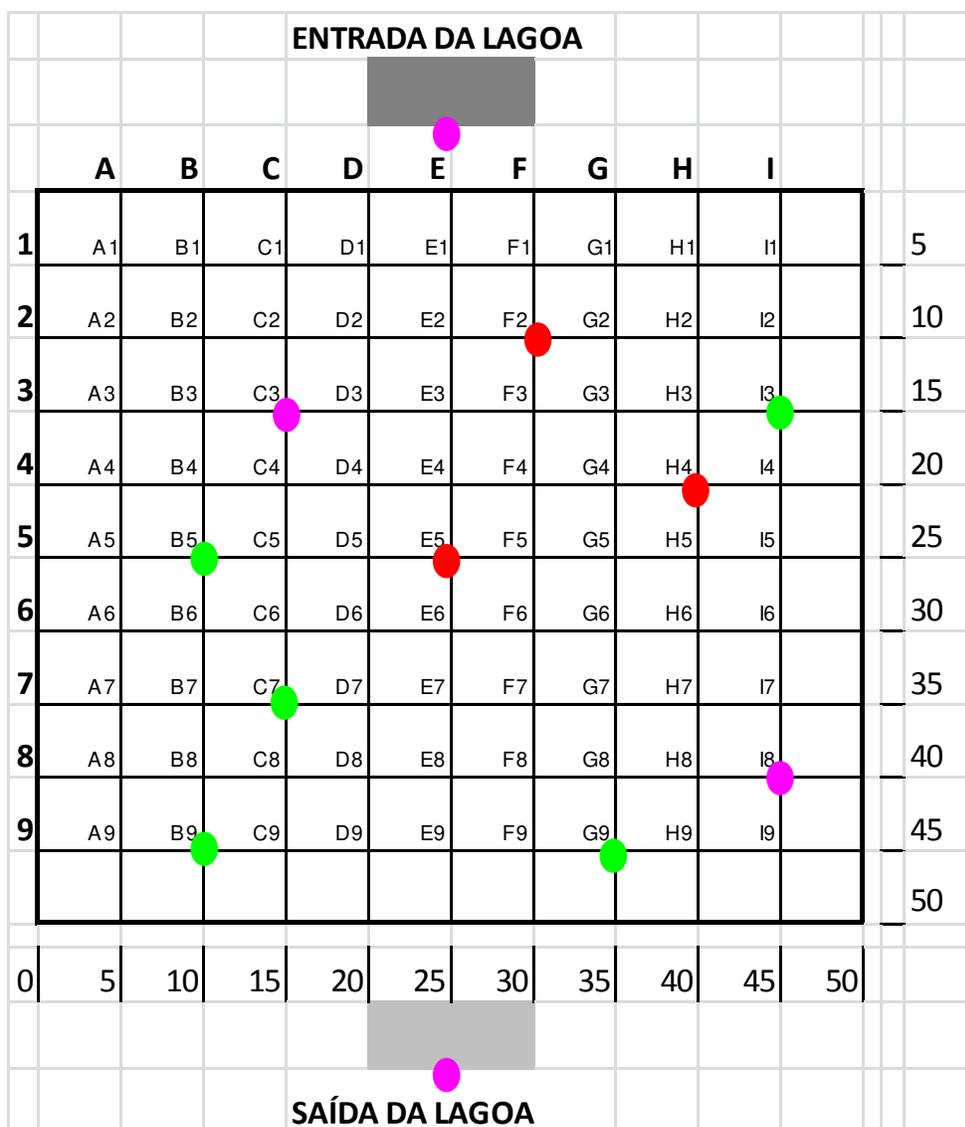
Figura 4.43 - Descrição das alturas das coletas: 0,20m, Meio e Fundo



Fonte: AUTOR (2008).

Pontos de coletas para análises de Coliformes Totais, *E. coli*, DBO e DQO: Para análises de Coliformes Totais e *E. coli* foram coletadas amostras de dentro da lagoa, em 10 pontos aleatórios e, em 3 alturas diferentes, acrescentados das coletas da entrada e saída da lagoa, totalizando 12 coletas. Para as análises de DBO e DQO foram coletadas amostras apenas na entrada e na saída da lagoa anaeróbia (Figura 4.44):

Figura 4.44 - Pontos de coletas: Coliformes Totais, *E. coli*, DBO e DQO



Fonte: AUTOR (2008).

Pontos de coletas para análises de Potássio: 10 pontos no meio da altura do lodo (Figura 4.45).

Figura 4.45 - Pontos de coletas: Potássio

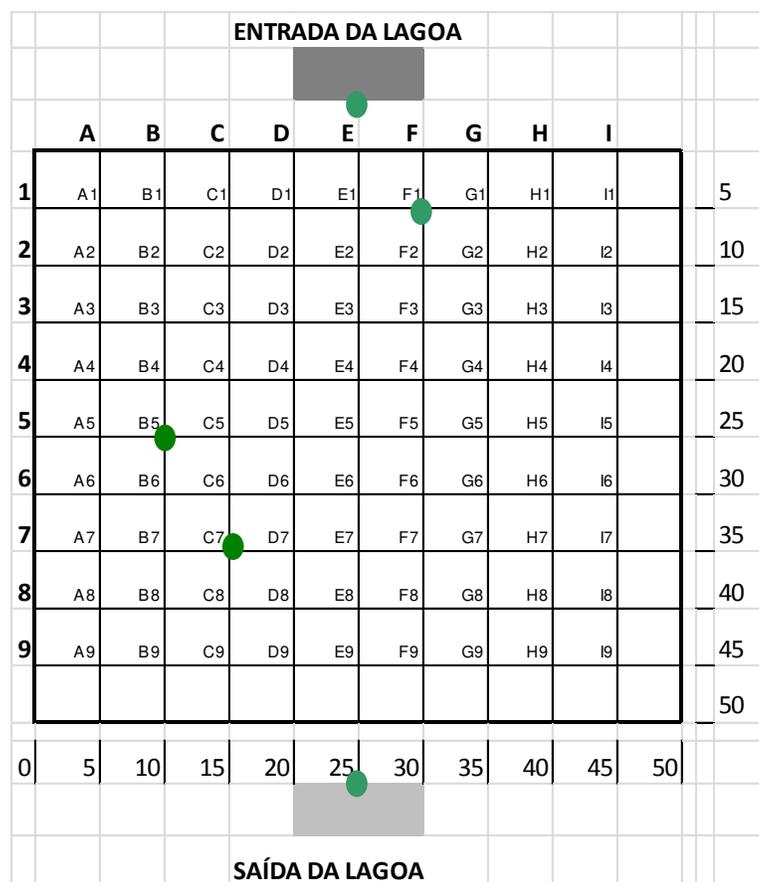
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | A1 | B1 | C1 | D1 | E1 | F1 | G1 | H1 | I1 | 5 |
| 2 | A2 | B2 | C2 | D2 | E2 | F2 | G2 | H2 | I2 | 10 |
| 3 | A3 | B3 | C3 | D3 | E3 | F3 | G3 | H3 | I3 | 15 |
| 4 | A4 | B4 | C4 | D4 | E4 | F4 | G4 | H4 | I4 | 20 |
| 5 | A5 | B5 | C5 | D5 | E5 | F5 | G5 | H5 | I5 | 25 |
| 6 | A6 | B6 | C6 | D6 | E6 | F6 | G6 | H6 | I6 | 30 |
| 7 | A7 | B7 | C7 | D7 | E7 | F7 | G7 | H7 | I7 | 35 |
| 8 | A8 | B8 | C8 | D8 | E8 | F8 | G8 | H8 | I8 | 40 |
| 9 | A9 | B9 | C9 | D9 | E9 | F9 | G9 | H9 | I9 | 45 |
| | | | | | | | | | | 50 |
| 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |

Fonte: AUTOR (2008).

No dia 03/12/2008 foram coletados nos mesmos 10 pontos apresentados acima para Potássio (no meio da altura do lodo), amostras para realização de análises de Cálcio, Magnésio, Fósforo e porcentagem de Sólidos.

Também no dia 03/12/2008 foram realizadas coletas de amostras de lodo para a realização de análises de Metais (Prata, Cobre, Níquel, Zinco, Chumbo, Cádmio e Cromo) e porcentagem de Sólidos (Figura 4.46).

Figura 4.46 - Pontos de coletas: Metais



Nota: São 3 pontos (3 alturas) + entrada e saída da lagoa = 11 pontos.

Fonte: AUTOR (2008).

Além das coletas acima descritas realizadas no dia 24/11/2008 para análises de Coliformes Totais, *E. coli*, DBO e DQO e no dia 03/12/2008 para análises de Metais (Prata, Cobre, Níquel, Zinco, Chumbo, Cádmio e Cromo) e porcentagem de Sólidos, referente à entrada e na saída da lagoa anaeróbia, foram também coletadas (nos *bags*, na entrada e na saída da lagoa anaeróbia) amostras no dia 29/12/08, no dia 07/01/09 e no dia 02/02/09, compreendendo o período do bombeamento para os *bags*.

Para estas amostras foram previstas análises de Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais, Fósforo Total, DBO, DQO e Metais (Potássio, Cálcio, Magnésio, Prata, Cádmio, Cromo, Cobre, Níquel, Chumbo e Zinco).

Observação: Dia 29/12/2008 não foram realizadas análises de DBO e DQO;

Dia 02/02/09 e 06/02/09 referente à entrada e saída da lagoa anaeróbia:

Foram realizadas coletas para análises pontuais de ovos helmintos e cistos de protozoários;

Análises do percolado dos *bags*: Foram coletadas 03 amostras no dia 07/01/2009 referente aos *bags* Nacional, Importado e Alternativo e, 02 amostras no dia 02/02/09 referente apenas aos *bags* Nacional e Importado. Para estas coletas foram compreendidas a realização das análises de Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais, Sólidos Totais, Cor, pH, Turbidez, DBO, DQO e Metais (Prata, Cádmiio, Cromo, Cobre, Níquel, Chumbo e Zinco);

Coletas do dia 18/05/2009: Foram realizadas coletas compostas no lodo dentro de cada um dos 3 *bags*, na caixa de percolado e na entrada e saída da lagoa anaeróbia (após decantar 40 litros), para realização de análises de Helmintos e Protozoários.

Para os 03 *bags* (Nacional, Importado e Alternativo) foram coletadas amostras em vários pontos diferentes e em várias alturas formando uma análise composta para cada *bag*.

Na caixa de percolado foi coletada amostra no fundo da caixa, apenas do material sedimentado dos 03 *bags* juntos.

Para a entrada e saída da lagoa anaeróbia foram realizadas coletas rotineiras a cada meia hora de 1,5 litros de esgotos, no período das 06 às 18h, compostando esta coleta em um tambor de 50 litros, aguardando até às 6h do outro dia para uma decantação e foi coletado 1 litro do sedimento resultante para análises, desprezando o sobrenadante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 BATIMETRIAS REALIZADAS

Conforme metodologia definida de estratificação da lagoa anaeróbia em optar por demarcar a lagoa anaeróbia de 5 em 5 metros, podem-se observar na Figura 5.1 e 5.2 que são apresentadas as medidas (em metros) referente à profundidade total da lagoa; altura da lâmina d'água e; a altura do lodo em cada ponto de demarcação.

Estas medidas foram realizadas antes e depois de se executar o bombeamento para os *bags*.

Também foi realizado uma médias dessas alturas e profundidades com o intuito de se comparar as duas batimetrias realizadas e verificar o quanto removeu de lodo do interior da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho.

Figura 5.1 – Batimetria realizada em 24/11/2008 (antes do bombeamento – em metros) – Lagoa Anaeróbia da ETE Pedregulho

| | A1 | B1 | C1 | D1 | E1 | F1 | G1 | H1 | I1 | MÉDIA |
|--|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------------|
| Prof. Total | 0,4 | 1,1 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2 | 1,7 | 1,3 | 0,4 | 1,33 |
| Lâmina d'água | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| Altura lodo | 0,4 | 1,1 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2 | 1,7 | 1,3 | 0,4 | 1,33 |
| | A2 | B2 | C2 | D2 | E2 | F2 | G2 | H2 | I2 | |
| Prof. Total | 1,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,2 | 0,8 | 2,24 |
| Lâmina d'água | 0 | 0,2 | 0,3 | 2 | 2,2 | 0,6 | 0,9 | 0 | 0 | 0,69 |
| Altura lodo | 1,6 | 2,4 | 2,3 | 0,6 | 0,4 | 2 | 1,7 | 2,2 | 0,8 | 1,56 |
| | A3 | B3 | C3 | D3 | E3 | F3 | G3 | H3 | I3 | |
| Prof. Total | 1,4 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 1,6 | 2,42 |
| Lâmina d'água | 0 | 0 | 0 | 2,6 | 2,4 | 2 | 1,6 | 0,8 | 0,05 | 1,05 |
| Altura lodo | 1,4 | 2,8 | 2,8 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 1 | 1,9 | 1,55 | 1,37 |
| | A4 | B4 | C4 | D4 | E4 | F4 | G4 | H4 | I4 | |
| Prof. Total | 1,9 | 2,8 | 2,65 | 2,6 | 2,8 | 2,6 | 2,7 | 2,5 | 0,6 | 2,35 |
| Lâmina d'água | 0 | 0,9 | 1,9 | 1,7 | 2,1 | 1,7 | 1,5 | 0 | 0 | 1,09 |
| Altura lodo | 1,9 | 1,9 | 0,75 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 2,5 | 0,6 | 1,26 |
| | A5 | B5 | C5 | D5 | E5 | F5 | G5 | H5 | I5 | |
| Prof. Total | 0,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 0,9 | 2,23 |
| Lâmina d'água | 0 | 0 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,9 | 1,9 | 2 | 0 | 1,18 |
| Altura lodo | 0,8 | 2,7 | 1,1 | 1,1 | 1 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,9 | 1,06 |
| | A6 | B6 | C6 | D6 | E6 | F6 | G6 | H6 | I6 | |
| Prof. Total | 1,9 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,7 | 2,5 | 1 | 2,37 |
| Lâmina d'água | 0 | 0,1 | 1,4 | 1,7 | 1,6 | 1,3 | 1,7 | 2 | 0 | 1,09 |
| Altura lodo | 1,9 | 2,5 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1 | 0,5 | 1 | 1,28 |
| | A7 | B7 | C7 | D7 | E7 | F7 | G7 | H7 | I7 | |
| Prof. Total | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 1,4 | 2,50 |
| Lâmina d'água | 0 | 0 | 0 | 1,8 | 1,8 | 0,1 | 0,1 | 1,4 | 0,1 | 0,59 |
| Altura lodo | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 1 | 0,9 | 2,5 | 2,5 | 1,2 | 1,3 | 1,91 |
| | A8 | B8 | C8 | D8 | E8 | F8 | G8 | H8 | I8 | |
| Prof. Total | 1,4 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 1,4 | 2,38 |
| Lâmina d'água | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 1,4 | 0,1 | 0,8 | 1,9 | 0 | 0,48 |
| Altura lodo | 1,4 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 1,4 | 2,4 | 1,7 | 0,7 | 1,4 | 1,90 |
| | A9 | B9 | C9 | D9 | E9 | F9 | G9 | H9 | I9 | |
| Prof. Total | 0,5 | 2,7 | 2,3 | 2,3 | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 1,7 | 0,4 | 1,77 |
| Lâmina d'água | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| Altura lodo | 0,5 | 2,7 | 2,3 | 2,3 | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 1,7 | 0,4 | 1,77 |
| MÉDIA DAS PROFUNDIDADES | | | | | | | | | | 2,18 |
| MÉDIAS DAS ALTURAS DA LÂMINA D'ÁGUA | | | | | | | | | | 0,68 |
| MÉDIAS DAS ALTURAS DO LODO | | | | | | | | | | 1,49 |

Fonte: AUTOR (2008).

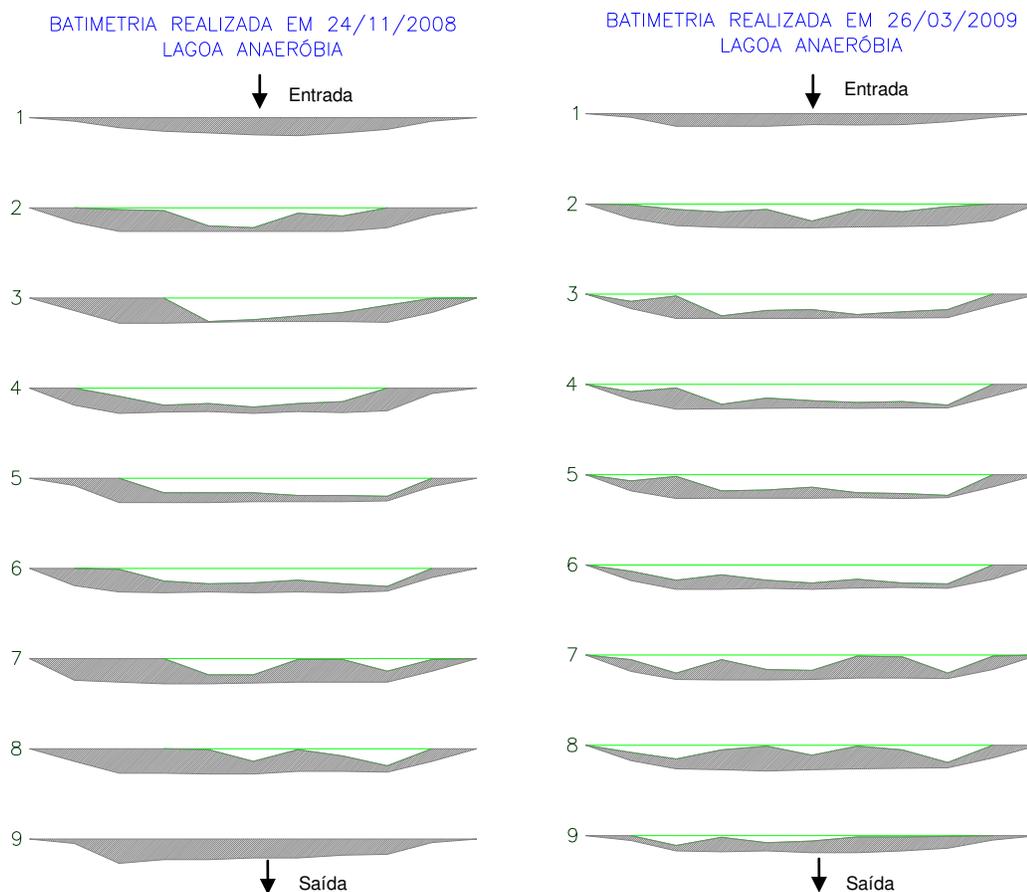
Figura 5.2 - Batimetria realizada na Lagoa Anaeróbia da ETE Pedregulho em 26/03/2009 (após bombeamento – em metros)

| | A1 | B1 | C1 | D1 | E1 | F1 | G1 | H1 | I1 | MÉDIA |
|--|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------------|
| Prof. Total | 0,4 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,20 | 1,250 | 1,20 | 0,90 | 0,40 | 1,06 |
| Lâmina d'água | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Altura lodo | 0,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 1,25 | 1,2 | 0,9 | 0,4 | 1,06 |
| | A2 | B2 | C2 | D2 | E2 | F2 | G2 | H2 | I2 | |
| Prof. Total | 1,60 | 2,40 | 2,60 | 2,65 | 2,65 | 2,55 | 2,50 | 2,40 | 1,85 | 2,36 |
| Lâmina d'água | 0,10 | 0,60 | 0,90 | 0,60 | 1,90 | 0,60 | 0,85 | 0,30 | 0 | 0,65 |
| Altura lodo | 1,5 | 1,8 | 1,7 | 2,05 | 0,75 | 1,95 | 1,65 | 2,1 | 1,85 | 1,71 |
| | A3 | B3 | C3 | D3 | E3 | F3 | G3 | H3 | I3 | |
| Prof. Total | 1,60 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,70 | 2,60 | 2,65 | 2,60 | 1,25 | 2,39 |
| Lâmina d'água | 0,80 | 0,20 | 2,40 | 1,80 | 1,70 | 2,25 | 1,95 | 1,70 | 0,00 | 1,42 |
| Altura lodo | 0,8 | 2,5 | 0,3 | 0,9 | 1 | 0,35 | 0,7 | 0,9 | 1,25 | 0,97 |
| | A4 | B4 | C4 | D4 | E4 | F4 | G4 | H4 | I4 | |
| Prof. Total | 1,70 | 2,75 | 2,70 | 2,65 | 2,60 | 2,65 | 2,60 | 2,60 | 1,30 | 2,39 |
| Lâmina d'água | 0,80 | 0,40 | 2,20 | 1,50 | 1,80 | 2,00 | 1,90 | 2,30 | 0,00 | 1,43 |
| Altura lodo | 0,9 | 2,35 | 0,5 | 1,15 | 0,8 | 0,65 | 0,7 | 0,3 | 1,3 | 0,96 |
| | A5 | B5 | C5 | D5 | E5 | F5 | G5 | H5 | I5 | |
| Prof. Total | 1,80 | 2,65 | 2,60 | 2,60 | 2,60 | 2,55 | 2,65 | 2,55 | 1,35 | 2,37 |
| Lâmina d'água | 0,70 | 0,20 | 1,80 | 1,70 | 1,40 | 2,00 | 2,10 | 2,30 | 0,00 | 1,36 |
| Altura lodo | 1,1 | 2,45 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 0,55 | 0,55 | 0,25 | 1,35 | 1,02 |
| | A6 | B6 | C6 | D6 | E6 | F6 | G6 | H6 | I6 | |
| Prof. Total | 1,75 | 2,70 | 2,70 | 2,60 | 2,70 | 2,55 | 2,50 | 2,60 | 1,60 | 2,41 |
| Lâmina d'água | 0,70 | 1,70 | 1,10 | 1,70 | 2,00 | 1,60 | 2,00 | 2,10 | 0,00 | 1,43 |
| Altura lodo | 1,05 | 1 | 1,6 | 0,9 | 0,7 | 0,95 | 0,5 | 0,5 | 1,6 | 0,98 |
| | A7 | B7 | C7 | D7 | E7 | F7 | G7 | H7 | I7 | |
| Prof. Total | 1,80 | 2,70 | 2,75 | 2,75 | 2,70 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 1,60 | 2,44 |
| Lâmina d'água | 0,50 | 2,00 | 0,50 | 1,60 | 1,70 | 0,10 | 0,20 | 2,00 | 0,10 | 0,97 |
| Altura lodo | 1,3 | 0,7 | 2,25 | 1,15 | 1,00 | 2,45 | 2,35 | 0,6 | 1,5 | 1,48 |
| | A8 | B8 | C8 | D8 | E8 | F8 | G8 | H8 | I8 | |
| Prof. Total | 1,70 | 2,60 | 2,70 | 2,85 | 2,70 | 2,60 | 2,55 | 2,50 | 1,40 | 2,4 |
| Lâmina d'água | 0,80 | 1,50 | 0,50 | 0,10 | 1,10 | 0,10 | 0,50 | 1,90 | 0,00 | 0,72 |
| Altura lodo | 0,9 | 1,1 | 2,2 | 2,75 | 1,6 | 2,5 | 2,05 | 0,6 | 1,4 | 1,68 |
| | A9 | B9 | C9 | D9 | E9 | F9 | G9 | H9 | I9 | |
| Prof. Total | 0,55 | 1,70 | 1,80 | 1,70 | 1,90 | 1,90 | 1,70 | 1,40 | 0,50 | 1,46 |
| Lâmina d'água | 0,00 | 1,10 | 0,20 | 0,80 | 0,60 | 0,15 | 0,15 | 0,10 | 0,00 | 0,34 |
| Altura lodo | 0,55 | 0,6 | 1,6 | 0,9 | 1,3 | 1,75 | 1,55 | 1,3 | 0,5 | 1,12 |
| MÉDIA DAS PROFUNDIDADES | | | | | | | | | | 2,14 |
| MÉDIAS DAS ALTURAS DA LÂMINA D'ÁGUA | | | | | | | | | | 0,93 |
| MÉDIAS DAS ALTURAS DO LODO | | | | | | | | | | 1,22 |

Fonte: AUTOR (2009).

Visando-se identificar a altura do lodo remanescente, após o manuseio da draga, ou seja, antes e depois do bombeamento para os *bags*, as batimetrias permitiram realizar cortes longitudinais na lagoa anaeróbia, conforme apresentado na Figura 5.3.

Figura 5.3 - Apresentação das batimetrias em cortes longitudinais



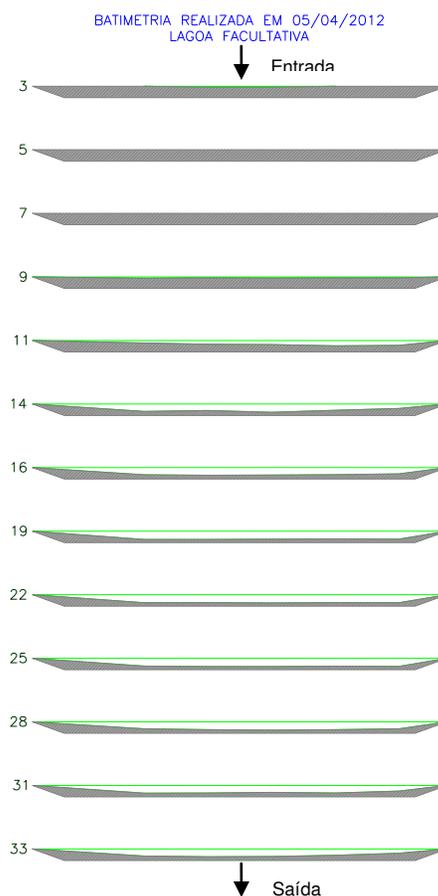
Fonte: AUTOR (2012).

Conforme batimetria realizada em 24/11/2008, verifica-se grande quantidade de lodo dentro da lagoa anaeróbia, num valor aproximado de 3.700 m^3 , valor este que corresponde a 68% do volume total da lagoa anaeróbia, de aproximadamente 5.400 m^3 , calculados das médias das alturas da lagoa pela sua largura e comprimento.

A batimetria realizada em 24/11/2008 permitiu identificar um caminho preferencial do efluente no meio da lagoa anaeróbia, nos pontos entre as tubulações de entrada e as de saída, e o lodo ficou disposto mais nas extremidades da mesma formando uma zona morta. Conforme se verifica nos cortes 1 e 9 da primeira batimetria, o lodo e areia também se acumulou entre a boca de entrada da do efluente e a borda da lagoa e entre a boca de saída da tubulação e a outra borda da lagoa.

Após ser constatada a grande quantidade de lodo na lagoa anaeróbia, foi realizada uma batimetria na lagoa facultativa em 05/04/2012 com o propósito de verificar se houve acarretamento de lodo para a segunda lagoa, conforme se pode observar na Figura 5.4.

Figura 5.4 - Batimetria da lagoa facultativa da ETE Pedregulho em 05/04/2012



Fonte: AUTOR (2012).

A batimetria realizada na lagoa facultativa permitiu verificar a grande quantidade de lodo existente na mesma. Com isso, supõe-se que pode ter ocorrido o acarreamento de lodo e/ou areia da lagoa anaeróbia para a lagoa facultativa durante os anos.

Comparando-se as duas batimetrias da lagoa anaeróbia, realizadas antes e depois do bombeamento para os *bags* (Figura 5.3) e, analisando as alturas do lodo, verifica-se que foi retirado em torno de 30 cm de lodo, ou seja, um volume aproximado de 600 m³. A camada de lodo que era de aproximadamente 1,50 m de altura baixou para em torno de 1,2 m.

Verifica-se também que, como a draga afundou mais no início do bombeamento (entre 11/12/2008 e 05/01/2009), chegando-se nesta época, no lado direito dos cortes longitudinais apresentados na Figura 5.3, até o fundo da lagoa e, afundando menos no final do bombeamento (no período de 06/01/2009 até 01/02/2009), do meio para a esquerda, chegando-se no máximo a 1,5 m de profundidade, houve uma acomodação do lodo na área da ETE, locomovendo-se de um lado para o outro (da esquerda para a direita) e mantendo um caminho preferencial do efluente, similar ao detectado antes de se iniciar o bombeamento. Tal fato pode ser verificado nos cortes 1, 2, 7, 8 e 9 da Figura 5.3.

Porém, a exemplo dos cortes 3 e 4 da Figura 5.3, verifica-se que não houve esta acomodação, podendo ser justificado pela falta de lodo no meio da lagoa anaeróbia perto destes pontos.

O fato de não mais se baixar a draga até o fundo da lagoa teve como objetivo percorrer toda a extensão da lagoa anaeróbia antes da saturação dos *bags*. O volume dragado (aproximadamente 600 m³ de lodo) foi menor do que o esperado pela Sabesp (1500 m³) podendo ter sido ocasionado em virtude da grande quantidade de areia no fundo da ETE (bombeada para os *bags*) e pelo afundamento inicial da draga, no qual a porcentagem de sólidos na parte mais funda, tende a ser maior. Os resultados apresentados na Tabela 5.1 pelo Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp, em análises

de amostras coletadas em 24/11/2008 (antes de iniciar o bombeamento) em 70 pontos dentro da lagoa anaeróbia, indicam que a porcentagem média de sólidos (peso seco) é de 11,7%. Estes pontos são os mesmos definidos na **Figura 4.40**.

Tabela 5.1 - Porcentagem de sólidos dos pontos da lagoa anaeróbia

| Ponto e altura | Peso bruto (g) | Peso seco (g) | % sólidos | % água |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|---------------|
| Média dos 70 pontos | 20,8 | 2,4 | 11,7 | 88,3 |
| Média do lodo do fundo | 20,6 | 3,4 | 16,4 | 83,6 |
| Média do lodo do meio | 21,1 | 2,2 | 10,8 | 89,2 |
| Média do lodo mais raso | 20,8 | 1,4 | 6,9 | 93,1 |

Laboratório: LABREUSO – FEC/UNICAMP (2010).

Na Tabela 5.1 é apresentada que a porcentagem de sólidos do lodo que se acomodou no fundo da lagoa (16,4%) tem maior peso seco do que o lodo que se acomodou no meio (10,8%) e na parte mais rasa (6,9%), com destaque para o ponto C3 2,4 m com 32% de sólidos, ou seja, quanto mais se afundava a draga, mais o tempo de saturação dos *bags* diminuía.

As alturas de lodo acumulado na lagoa anaeróbia variaram de 0,4 m a 2,8 m. Como a altura média é de 1,49 m, observou-se um acúmulo médio de lodo em torno de 8,6 cm por ano.

A taxa de acumulação de lodo encontrada foi de aproximadamente 0,023 m³/hab.ano, em conformidade com o acúmulo de lodo mencionado na literatura por VON SPERLING (2002) na faixa de 0,02 a 0,10 m³/hab.ano. Porém, neste calculo, não esta sendo considerada a quantidade de lodo que, supostamente, pode ter sido acarreado para a lagoa facultativa durante os anos de operação da ETE.

5.2 RETIRADA DO LODO / BOMBEAMENTO PARA OS BAGS

A bomba submersível estava instalada no tanque de homogeneização e bombeava para os *bags*. O tanque possuía as dimensões de 4,10 m de comprimento, 2,95 m de largura e 1,00 m de profundidade, totalizando 12,10 m³. À partir da capacidade do tanque, foram realizados alguns testes para se calcular a vazão das duas bombas utilizadas durante o processo de bombeamento para os *bags*.

Para a primeira bomba foram realizados testes dia 08/01/09, 09/01/09 e 15/01/09 bombeando para o *Bag* Importado e dia 11/01/09 bombeando para o *Bag* Nacional. Já para a bomba substituta, foi realizado teste no dia 29/01/09 bombeando para o *Bag* Importado e no dia 01/02/09 bombeando para o *Bag* Nacional. Não houve teste de vazão para o *Bag* Alternativo em virtude do mesmo já ter sido rompido. Na Figura 5.5 são apresentados resultados de um dos cálculos de tempo para enchimento do tanque de 12,10 m³.

Figura 5.5 - Planilha de cálculo de vazão da bomba

| <i>Bag Importado</i> | | Data: 08/01/09 |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|
| | | |
| <u><i>Início às 17h:18</i></u> | <i>Tempo</i> | <i>Medida</i> |
| | 08min30 | 40 cm |
| | 11min | 49 cm |
| | 12min30 | 53 cm |
| | 15min | 67 cm |
| | 18min20 | 77 cm |
| | 19min25 | 90 cm |
| <u><i>Fim às 17h:38</i></u> | 20min | 95 cm |
| <u><i>Previsão</i></u> | 21,05263 | 1metro |
| | 21min03 | 1metro |

Fonte: Autor (2009).

As vazões das bombas em m³/h foram apuradas, calculando-se com base nas médias das vazões encontradas durante os testes, apresentadas na Tabela 5.2 em tempo para bombear 12 metros cúbicos.

Tabela 5.2 - Média dos testes de vazão das bombas (tempo para bombear 12 m³)

| Tipo | Tempo |
|---------------------------|--------------|
| BAG IMPORTADO | |
| Média da bomba | 21 min 30 s |
| Média bomba substituta | 17 min 40 s |
| MÉDIA GERAL BAG IMPORTADO | 20 min 32 s |
| BAG NACIONAL | |
| Média da bomba | 17 min 48 s |
| Média bomba substituta | 16 min 13 s |
| MÉDIA GERAL BAG NACIONAL | 17 min |

Fonte: Autor (2009).

Na Tabela 5.2 percebe-se que a bomba substituta demorou menos tempo para bombear os mesmos 12 m³ de lodo. Para o *Bag* Alternativo foi utilizada a média dos tempos encontrados do *Bag* Nacional e o *Bag* Importado, em virtude do mesmo ter sido rompido antes dos testes de vazão e, em virtude do mesmo se encontrar fisicamente entre o *Bag* Nacional e o *Bag* Alternativo.

Transformando-se a média das vazões estimadas da bomba em m³/h, temos uma vazão da bomba aproximada de 35 m³/h para o *Bag* Importado, 42 m³/h para o *Bag* Nacional e 39 m³/h para o *Bag* Alternativo.

Com relação ao horímetro instalado na bomba, as leituras realizadas durante todo o processo de bombeamento apresentaram uma utilização de 64,4 horas totais de bombeamento para os 3 *bags*.

Para se calcular o volume total bombeado em cada *bag* (lodo + água), foi utilizado o valor encontrado de quanto cada *bag* comporta de lodo (volume útil) e aplicado estes mesmos percentuais no cálculo do total bombeado, ou seja, a contribuição percentual que cada *bag* teve na hora de se bombear todo o lodo.

Dadas às dimensões e suas alturas máximas, pôde-se estimar o volume útil total de cada *bag*, no qual o *Bag* Importado apresentou resultado de 522,9 m³ (85% do total), o *Bag* Nacional apresentou um volume de 77 m³ (12,5% do total) e o *Bag* Alternativo apresentou um volume útil de 14,4 m³ (2,3% do total), perfazendo 614 m³ de lodo no total.

Comparando-se a soma da capacidade máxima de volume utilizado de cada *bag* (614 m³) com o resultado de altura de lodo calculado através das batimetrias (600 m³), percebe-se que os volumes apresentados são semelhantes.

Enfim, à partir dos resultados dos testes de vazão das bombas (35 m³/h - *Bag* Importado, 42 m³/h - *Bag* Nacional e 39 m³/h - *Bag* Alternativo), das leituras do horímetro instalado (64,4 horas totais para os 3 *bags*) e, após encontrado o percentual bombeado para cada *bag* (85% para o *Bag* Importado, 12,5% para o *Bag* Nacional e 2,3% para o *Bag* Alternativo), pôde-se estimar o volume total bombeado (lodo + água).

Os resultados obtidos foram de aproximadamente 1.900 m³ para o *Bag* Importado, 350 m³ para o *Bag* Nacional e 50 m³ para o *Bag* Alternativo, totalizando em torno de 2.300 m³ de lodo.

Vale lembrar que, depois do *bag* cheio, com a sua capacidade máxima bombeada (saturação em torno de 600 m³), ainda houveram saída de líquidos percolados, fazendo com que o lodo chegasse a teores de sólidos acima de 25%.

Também é importante apresentar que o processo ficou mais tempo bombeando para o *Bag* Importado, numa vazão média de 35 m³/h, do que para os demais *bags*, que possuíam vazões de bombeamento maiores. Isto se deu em virtude do mesmo ter

dimensões maiores, ter mais espaços vazios, além de ter maior resistência física ao bombeamento.

5.3 DESEMPENHO DA ETE

Para se determinar as características do efluente foram realizadas análises na entrada e na saída da lagoa anaeróbia. Estas análises visam avaliar o desempenho da ETE após a retirada do lodo da lagoa anaeróbia.

A Tabela 5.3 apresenta resultados da coleta realizada antes de se iniciar o bombeamento para os parâmetros DBO, DQO, Coliformes Totais e *E. coli*, pelo Laboratório da ETE Franca – Sabesp.

Tabela 5.3 - Análises de DBO, DQO, Coliformes Totais e *E. coli* em 24/11/08 (antes da remoção, na lagoa anaeróbia)

| Código do Ponto | Parâmetro | Valor Encontrado | Unidade |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|----------|
| Afluente da Lagoa Anaeróbia | DQO | 820 | mg/l |
| | DBO | 460 | mg/l |
| | Coliformes Totais | $2,3 \times 10^8$ | NMP/100g |
| | <i>E. coli</i> | $3,7 \times 10^7$ | NMP/100g |
| Efluente da Lagoa Anaeróbia | DQO | 460 | mg/l |
| | DBO | 140 | mg/l |
| | Coliformes Totais | $4,1 \times 10^7$ | NMP/100g |
| | <i>E. coli</i> | $1,5 \times 10^7$ | NMP/100g |

Laboratório: ETE Franca - SABESP.

A Tabela 5.4, apresenta os resultados de porcentagem de sólidos e de metais coletados em 03/12/2008 (antes de se iniciar o bombeamento), conforme análises realizadas pelo Laboratório Bioagri.

Tabela 5.4 - Porcentagem de sólidos e metais coletados em 03/12/08 na entrada e saída da lagoa anaeróbia (antes da remoção)

| Parâmetros | Unidade | Entrada da Lagoa | | Saída da Lagoa | |
|-------------------------|---------|------------------|------------|----------------|------------|
| | | LQ * | Resultados | LQ * | Resultados |
| Porcentagens de Sólidos | %p/p | 0,05 | 0,13 | 0,05 | 0,17 |
| Prata | mg/kg | 20 | <20 | 15 | <15 |
| Cobre | mg/kg | 20 | <20 | 15 | <15 |
| Níquel | mg/kg | 20 | <20 | 15 | <15 |
| <i>Metais</i> Zinco | mg/kg | 20 | 123 | 15 | 97 |
| Chumbo | mg/kg | 20 | <20 | 15 | <15 |
| Cádmio | mg/kg | 2 | <2 | 2 | <2 |
| Cromo | mg/kg | 20 | <20 | 15 | <15 |

* LQ – Limite de Quantificação.

Laboratório: Bioagri.

Com exceção do zinco, os demais metais estão abaixo do limite de quantificação do aparelho, tanto na entrada como na saída da lagoa anaeróbia.

Com o intuito de verificar o comportamento da lagoa anaeróbia durante o processo de bombeamento/dragagem, foram realizadas análises pelo laboratório Bioagri, na entrada e na saída da lagoa anaeróbia conforme se observa nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 - Análises realizadas na entrada da lagoa anaeróbia durante o processo de dragagem

| Parâmetros | Unidade | Resultados Analíticos | | |
|----------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | | 29/12/2008 | 07/01/2009 | 02/02/2009 |
| DBO | mg/l | - | 135 | 173 |
| DQO | mg/l | - | 358 | 452 |
| Fósforo Total | mg/l | 4,75 | 0,21 | 1,5 |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/100mL | $1,55 \times 10^7$ | $6,57 \times 10^7$ | $4,11 \times 10^6$ |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | $4,87 \times 10^7$ | $1,67 \times 10^8$ | $2,42 \times 10^7$ |
| Prata | mg/l | <0,005 | <0,0001 | <0,0001 |
| Cobre | mg/l | 0,017 | 0,0092 | <0,0001 |
| Níquel | mg/l | 0,012 | 0,0095 | <0,0001 |
| Zinco | mg/l | 0,191 | 0,0743 | 0,0218 |
| Chumbo | mg/l | <0,01 | <0,0005 | <0,0005 |
| Cádmio | mg/l | <0,001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Cromo | mg/l | 0,013 | 0,0097 | <0,0001 |
| Potássio | mg/l | 14,3 | 8,98 | 6,83 |
| Cálcio | mg/l | 11,0 | 9,75 | 6,91 |
| Magnésio | mg/l | 4,7 | 3,06 | 2,81 |

Laboratório: Bioagri.

Tabela 5.6 - Análises realizadas na saída da lagoa anaeróbia durante a dragagem

| Parâmetros | Unidade | Resultados Analíticos | | |
|----------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | | 29/12/2008 | 07/01/2009 | 02/02/2009 |
| DBO | mg/l | - | 77 | 26 |
| DQO | mg/l | - | 223 | 104 |
| Fósforo Total | mg/l | 5,47 | 0,14 | 1,4 |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/100mL | $3,87 \times 10^6$ | $4,16 \times 10^6$ | $1,41 \times 10^7$ |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | $2,43 \times 10^7$ | $5,63 \times 10^7$ | $2,42 \times 10^7$ |
| Prata | mg/l | <0,005 | <0,0001 | <0,0001 |
| Cobre | mg/l | 0,025 | 0,0066 | 0,0031 |
| Níquel | mg/l | <0,01 | 0,0075 | <0,0001 |
| Zinco | mg/l | 0,188 | 0,0576 | 0,0264 |
| Chumbo | mg/l | <0,01 | 0,0027 | <0,0005 |
| Cádmio | mg/l | <0,001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Cromo | mg/l | 0,011 | 0,0109 | <0,0001 |
| Potássio | mg/l | 12,5 | 13,6 | 10,2 |
| Cálcio | mg/l | 13,7 | 9,84 | 9,93 |
| Magnésio | mg/l | 4,4 | 2,76 | 3,81 |

Laboratório: Bioagri.

Os resultados apontam uma melhoria no sistema durante o bombeamento, com relação à remoção de DBO e DQO, no qual, do dia 07/01/09 para o dia 02/02/09, houve um aumento na concentração de entrada da lagoa anaeróbia, mas a concentração de saída foi menor do que a anterior. Percebe-se também que a liberação de fósforo para a lagoa facultativa foi bem menor nos dias 07/01 e 02/02/09 comparando-se com o dia 29/12/08, mesmo percebendo que o afluente tenha recebido baixa contribuição de fósforo. Uns dos fatores pode ser a própria remoção do lodo da lagoa anaeróbia que fez com que a altura do lodo baixasse e diminuindo o acarretamento para a lagoa facultativa.

Porém, o que mais chamou a atenção nestes resultados, foi a liberação de potássio, no qual, na entrada da lagoa anaeróbia, nos dias 07/01/09 e 02/02/09 (8,98 mg/l e 6,83 mg/l respectivamente) apresentam um resultado inferior ao encontrado na entrada da mesma no dia 29/12/08 (14,3 mg/l) mas, na saída da lagoa anaeróbia para a lagoa facultativa, os resultados do dia 07/01/09 (13,6 mg/l) e 02/02/09 (10,2 mg/l), foram maiores do que os resultados de entrada destes mesmos dias, havendo liberação de potássio de uma lagoa para a outra.

Já na Tabela 5.7 é apresentado o desempenho da ETE Pedregulho antes e depois da retirada do lodo do interior da lagoa anaeróbia. Estas análises foram realizadas trimestralmente, pelo Laboratório de Controle Sanitário da Sabesp de Franca, por 42 meses, até o mês de abril/2012.

Tabela 5.7 - Desempenho da ETE Pedregulho antes, durante e depois do bombeamento

| Parâmetro | Unidade | Dia 14/10/08 (antes de bombear) | Dia 05/01/09 (durante) | Dia 07/04/09 (após bombear) | Dia 21/07/09 (após bombear) | Média dos últimos 42 meses (até abril/2012) |
|-----------------------|----------------------|--|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| AFLUENTE | | | | | | |
| DBO | mg O ₂ /l | 905 | 764 | 784 | 1107 | 581 |
| DQO | mg O ₂ /l | 1740 | 1570 | 1520 | 2420 | 1218 |
| pH | | 6,8 | 7,0 | 6,7 | 7,2 | 7,1 |
| EFLUENTE FINAL | | | | | | |
| DBO | mg O ₂ /l | 90 | 60 | 70 | 70 | 73 |
| DQO | mg O ₂ /l | 376 | 307 | 256 | 315 | 297 |
| pH | | 7,6 | 7,5 | 7,4 | 7,4 | 7,5 |
| EFICIÊNCIA | | | | | | |
| DBO | % | 90,1% | 92,1% | 91,1% | 93,7% | 87,5% |
| DQO | % | 78,4% | 80,4% | 83,2% | 87,0% | 75,6% |

Laboratório: Controle Sanitário da SABESP - Franca (2012).

A Tabela 5.7 indica que, a princípio, houve uma melhora na eficiência da ETE durante o bombeamento (05/01/09) e também após o período de bombeamento (07/04 e 21/07/09), quanto à remoção de DBO e de DQO. No entanto, pode-se verificar que houve um decaimento na eficiência da ETE quando se analisa a média dos últimos 42 meses, de outubro/2008 a abril/2012, apresentando-se baixa eficiência nos anos seguintes. Tais dados são indicadores que mostram a necessidade de nova limpeza da ETE Pedregulho.

Realizando análises microbiológicas e parasitológicas como, por exemplo, coliformes totais, coliformes termotolerantes, helmintos e protozoários, pretendeu-se verificar indicações de bom desempenho da lagoa anaeróbia e da ETE Pedregulho antes e depois do bombeamento para os *bags*.

Na tabela 5.8 estão sendo apresentados resultados do Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp para helmintos e protozoários afluente e efluente da lagoa anaeróbia.

Tabela 5.8 - Análises de helmintos e protozoários na entrada e saída da lagoa anaeróbia

| Amostra | Helmintos | | | | | | Protozoários | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-------|----|----|----|--------------|---------|---------|
| | Al | All | Toxo. | Tt | Hd | Hn | Gia | E. nana | E. coli |
| 29/12/08 -16:50h – Entrada | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Saída da lagoa (29/12/08) | | | | | | | | | |
| 16:38h | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/01/09 - 17:41h – Entrada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/01/09 - 17:36h – Saída | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. |
| 02/02/09 - 18:05h – Entrada | Nemato VL | Nemato VL | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. |
| 02/02/09 - 17:58h – Saída | Nemato VL | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. | Posit. | 0 |
| 06/02/09 – Saída P | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 06/02/09 - 17:54h – Saída | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Legenda: Posi. - Positivo para o parasito; n - Negativo para o parasito; Al – *Ascaris* sp, All – *Ascaris* sp larvado; Toxo. – *Toxocara* sp (*T. cati* ou *T. leoni*); Tt – *Trichuris* sp (*T. muris*, *T. vulpis*); Hd – *Hymenolepis diminuta*; Hn – *Hymenolepis nana*; E. coli. – *Entamoeba coli*; Gia – *Giardia* sp (sinonímia *G. intestinalis* e *G. duodenalis*); E. nana – *Endolimax nana*; Nemato VL - nematoide vida livre.

Laboratório: LABREUSO – FEC/UNICAMP (2010).

Verificando os resultados da Tabela 5.8, não foram encontradas altas concentrações de helmintos e protozoários. Devido a esta baixa concentração, observou-se ser necessário, junto ao Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp, desenvolver uma nova metodologia de coleta das amostras, para que fosse realizada outra coleta para amostragem, que se deu no dia 18/05/2009. Como anteriormente as amostras eram coletadas pontuais, diretamente na tubulação de chegada e na tubulação de saída da lagoa anaeróbia, optou-se por fazer uma coleta composta, coletando de acordo com o orientado no item 4.5.2.2.2 e, escolhendo os melhores horários de despejos na rede coletora de esgotos pela população local, após se avaliar os horários de maior vazão apresentados na **Figura 4.4**.

Decidiu-se coletar, à partir das 6:00h da manhã, a cada 30 minutos, aproximadamente 1,5 litro de afluente e 1,5 litro de efluente, sendo armazenados separadamente em tambores de 50 litros. Este procedimento se deu até às 20:30h do mesmo dia e o material coletado ficou armazenado nos tambores de 50 litros até às 6:00h do dia seguinte.

Tal procedimento visou coletar o esgoto proveniente da população, eliminando problemas pontuais como, por exemplo, água de chuva na rede de esgotos e visou coletar apenas o material que se acomodou no fundo dos tambores, sendo desprezados os materiais sobrenadantes, tendo em vista que helmintos e protozoários tendem a se acomodarem no fundo. Os resultados são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Novas análises de helmintos e protozoários na entrada e saída da lagoa anaeróbia – 18/05/2009

| Amostra | Helmintos | | | | | | Protozoários | | |
|---------------------------|-----------|-----|-------|----|----|----|--------------|---------|---------|
| | Al | All | Toxo. | Tt | Hd | Hn | Gia | E. nana | E. coli |
| Entrada (18/05/09) 20:30h | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. |
| Saída P (18/05/09) 20:30h | 7 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |

Legenda: Posi. - Positivo para o parasito; n - Negativo para o parasito; Al – *Ascaris* sp, All – *Ascaris* sp larvado; Toxo. – *Toxocara* sp (*T. cati* ou *T. leoni*); Tt – *Trichuris* sp (*T. muris*, *T. vulpis*); HD – *Hymenolepis diminuta*; Hn – *Hymenolepis nana*; E. coli. – *Entamoeba coli*; Gia – *Giardia* sp (sinonímia *G. intestinalis* e *G. duodenalis*); E. nana – *Endolimax nana*; Nemato VL - nematóide vida livre.

Laboratório: LABREUSO – FEC/UNICAMP (2010).

Os resultados apresentados nas Tabelas 5.8 e 5.9 mostram que, com relação aos helmintos, foram encontrados no afluente da lagoa anaeróbia apenas nematóides aparentemente de vida livre. Os resultados do Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp apontam que muitos organismos normalmente encontrados em águas eutrofizadas como copépodes, nematóides, leveduras e ovos de ácaros, apareceram em grande quantidade, desta forma, ovos de ancilostomatídeos não foram quantificados, devido à estreita semelhança morfológica com ovos de ácaros.

Foram encontrados ovos de helmintos do tipo *Ascaris sp* (inférteis) no efluente da lagoa anaeróbia e, com relação aos cistos de protozoários, foram vistos tanto no afluente como no efluente da lagoa anaeróbia.

Estes resultados mostram que, mesmo a ETE Pedregulho estar no limite de sua capacidade, ela apresenta boa eficiência de remoção de ovos de helmintos no qual todo o processo de tratamento está influenciando na viabilidade destas formas infectantes.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DO LODO SEGUNDO NORMA ABNT NBR 10.004/04 E RESOLUÇÃO CONAMA 344/04 - MMA

NORMA ABNT NBR 10.004/04: Os resultados das análises referentes às coletas do dia 25/11/2008 do lodo do interior da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho/SP e realizadas pelo Laboratório ASL referente à ABNT NBR 10.004:2004 (completa) estão apresentados nas Tabelas 5.10 a 5.18. Lembrando que são dados pontuais de amostra composta coletadas em diversos pontos do interior da lagoa anaeróbia, cujos resultados podem sofrer alterações durante o tempo.

Tabela 5.10 - Análises de teste de lixiviação (pH, tempo, sólidos e volume)

| Parâmetros | Resultados |
|-----------------------------|-----------------------|
| pH final | 4,7 |
| Tempo de lixiviação | 18 horas |
| Teor de sólidos | 10,40% |
| Volume dos líquidos obtidos | <0,1 ml/25g |

Laboratório: ASL.

O teor de sólidos do lodo do interior da lagoa anaeróbia de 10,4% está bem próximo dos valores encontrados pelo Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp de 11,7%.

Tabela 5.11 - Análises de teste de lixiviação (exames físico-químicos)

| Parâmetros | Resultados | VMP | Unidade |
|-------------------|-------------------|------------|----------------|
| Arsênio | 0,142 | 1,0 | mg/l de As |
| Bário | 0,57 | 70,0 | mg/l de Ba |
| Cádmio | <0,02 | 500 | mg/l de Cd |
| Chumbo | <0,12 | 1,0 | mg/l de Pb |
| Cromo Total | 0,02 | 5,0 | mg/l de Cr |
| Fluoreto | <0,01 | 150 | mg/l de F |
| Mercúrio | <0,0002 | 0,1 | mg/l de Hg |
| Prata | 0,011 | 5,0 | mg/l de Ag |
| Selênio | 0,156 | 1,0 | mg/l de Se |

Laboratório: ASL.

Conclusão técnica: De acordo com a NBR 10005:2004 – Lixiviado: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Os valores encontrados estão bem abaixo do VMP da norma.

Tabela 5.12 - Análises de teste de massa bruta (exames físico-químicos)

| Parâmetros | Resultados | VMP | Unidade |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| Cianeto Total | <0,5 | 250 | mg/kg CN |
| pH 1:1 | 7,8 | Entre 2,0 e 12,5 | -- |
| Sulfeto | 56,84 | 500 | mg/kg de S ₂ |
| Líquidos livres | 0 | Sem referência | ml/100g |
| Óleos e graxas | 13.390,3 | - | mg/kg |

Laboratório: ASL.

Tabela 5.13 - Análises de teste de massa bruta (organolépticos)

| Parâmetros | Resultados | VMP | Unidade |
|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Aspecto | Escuro | Sem referência | -- |

Laboratório: ASL.

Conclusão técnica: De acordo com a norma ABNT NBR 10.004:2004, para as análises de teste Massa Bruta (organolépticos): Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Tabela 5.14 - Análises de teste de solubilização (pH, tempo, volume de água deionizada e membrana filtrante)

| Parâmetros | Resultados |
|------------------------------|-----------------------|
| pH final | 7,6 |
| Volume de água deionizada | 648,4 ml |
| Tempo de solubilização | 7 dias |
| Membrana filtrante utilizada | 1,0 micrômetro |

Laboratório: ASL.

Tabela 5.15 - Análises de teste de solubilização (exames físico-químicos)

| Parâmetros | Resultados | VMP | Unidade |
|--------------------|-------------------|------------|--------------------|
| Alumínio | 0,050 | 0,2 | mg/l de Al |
| Arsênio | 0,022* | 0,01 | mg/l de As |
| Bário | 0,73* | 0,7 | mg/l de Ba |
| Cádmio | <0,0007 | 0,005 | mg/l de Cd |
| Chumbo | 0,007 | 0,01 | mg/l de Pb |
| Cianeto Total | <0,005 | 0,07 | mg/l de CN |
| Cloreto | 24,61 | 250,0 | mg/l de Cl |
| Cobre | <0,04 | 2,0 | mg/l de Cu |
| Cromo Total | 0,01 | 0,05 | mg/l de Cr |
| Fenóis | 0,06* | 0,01 | mg/l de C6H5OH |
| Ferro | 3,78* | 0,3 | mg/l de Fé |
| Fluoreto | 0,36 | 1,5 | mg/l de F |
| Manganês | 0,07 | 0,1 | mg/l de Mn |
| Mercúrio | <0,0002 | 0,001 | mg/l de Hg |
| Nitrogênio Nitrato | <0,01 | 10,0 | mg/l de N |
| Prata | <0,005 | 0,05 | mg/l de Ag |
| Selênio | <0,005 | 0,01 | mg/l de Se |
| Sódio | 42,6 | 200,0 | mg/l de Na |
| Sulfato | 18,60 | 250,0 | mg/l de SO4 |
| Surfactantes | 0,14 | 0,5 | mg/l de Surf Anion |
| Zinco | 0,51 | 5,0 | mg/l de Zn |

Legenda: * Parâmetros que não atendem aos limites máximos admissíveis; VMP: valor máximo permitido.

Laboratório: ASL.

De acordo com a NBR 10006:2004 – Solubilizado: Os parâmetros Arsênio, Bário, Fenóis e Ferro ultrapassam os limites máximos permitidos. Foram evidenciados no município apenas o lançamento de efluente de um laticínio e, em torno de 4 anos atrás, foi inaugurado um curtume, fatos estes que podem ter contribuídos para o lançamento na ETE de efluentes que alterariam os valores totais destes parâmetros.

Tabela 5.16 - Resultados analíticos NBR 10.004/04 Orgânicos - Solubilizado (SVOC)

| Composto | Unidade | LD | LQ | VMP | Resultados |
|------------------------------|---------|------|-------|------|------------|
| Aldrin e Dieldrin | µg/l | 0,01 | 0,03 | 0,03 | <0,03 |
| Clordano (todos os isômeros) | µg/l | 0,07 | 0,20 | 0,2 | <0,20 |
| 2,4 –D | µg/l | 6,67 | 20,00 | 30 | <20,00 |
| DDT (todos os isômeros) | µg/l | 0,33 | 1,00 | 2 | <1,00 |
| Endrin | µg/l | 0,07 | 0,20 | 0,6 | <0,20 |
| Fenóis totais | µg/l | 3,33 | 10,00 | 10 | 230,1 |
| Heptacloro e seu epóxido | µg/l | 0,01 | 0,03 | 0,03 | <0,03 |
| Hexaclorobenzeno | µg/l | 3,33 | 10,00 | 10 | <10,00 |
| Lindano (γ-BHC) | µg/l | 0,33 | 1,00 | 20 | <1,00 |
| Metoxicloro | µg/l | 3,33 | 10,00 | 20 | <10,00 |
| Toxafeno | µg/l | 0,07 | 0,20 | 5 | <0,20 |
| 2,4,5 – T | µg/l | 0,33 | 1,00 | 2 | <1,00 |
| 2,4,5 – TP | µg/l | 1,67 | 5,00 | 30 | <5,00 |

Legenda: **LD**: limite de detecção; **LQ**: limite de quantificação; **VMP**: valor máximo permitido.

Laboratório: ASL.

Tabela 5.17 - Resultados analíticos NBR 10.004/04 Orgânicos - Lixiviado (VOC)

| Composto | Unidade | LD | LQ | VMP | Resultados |
|--------------------------|---------|------|----|------|------------|
| 1,1 – Dicloroetileno | µg/l | 1,67 | 5 | 3000 | <5 |
| 1,2 – Dicloroetano | µg/l | 1,67 | 5 | 1000 | <5 |
| 1,4 – Diclorobenzeno | µg/l | 1,67 | 5 | NA | <5 |
| Benzeno | µg/l | 1,67 | 5 | 500 | <5 |
| Cloreto de vinila | µg/l | 1,67 | 5 | 500 | <5 |
| Clorobenzeno | µg/l | 1,67 | 5 | NA | <5 |
| Clorofórmio | µg/l | 1,67 | 5 | NA | <5 |
| Hexaclorobutadieno | µg/l | 1,67 | 5 | NA | <5 |
| Tetracloroeto de carbono | µg/l | 0,67 | 2 | 200 | <2 |
| Tetracloroetileno | µg/l | 1,67 | 5 | NA | <5 |
| Tricloroetileno | µg/l | 1,67 | 5 | NA | <5 |
| 2-butanona | µg/l | 1,67 | 5 | NA | <5 |

Legenda: **LD**: limite de detecção; **LQ**: limite de quantificação; **NA**: não aplicável; **VMP**: valor máximo permitido.

Laboratório: ASL.

Tabela 5.18 - Resultados analíticos NBR 10.004/04 Orgânicos - Lixiviado (SVOC)

| Composto | Unidade | LD | LQ | VMP | Resultados |
|-------------------------------------|---------|-------|-----|--------|------------|
| 2,4 – D | µg/l | 133,3 | 400 | 3000 | <400 |
| 2,4 – Dinitrotolueno | µg/l | 1,7 | 5 | 130 | <5 |
| 2,4,5 – T | µg/l | 6,7 | 20 | 200 | <20 |
| 2,4,5 – TP | µg/l | 13,3 | 40 | 1000 | <40 |
| 2,4,5 – Triclorofenol | µg/l | 33,3 | 100 | 400000 | <100 |
| 2,4,6 – Triclorofenol | µg/l | 33,3 | 100 | 20000 | <100 |
| Aldrin + Dieldrin | µg/l | 1,0 | 3 | 3 | <3 |
| Benzo (a) pireno | µg/l | 4,0 | 12 | 70 | <12 |
| Clordano (todos os isômeros) | µg/l | 3,3 | 10 | 20 | <10 |
| DDT (p,p ' DDT+p,p ' DDD+p,p ' DDE) | µg/l | 6,7 | 20 | 200 | <20 |
| Endrin | µg/l | 13,3 | 40 | 60 | <40 |
| Heptacloro e seus epóxidos | µg/l | 1,0 | 3 | 3 | <3 |
| Hexaclorobenzeno | µg/l | 16,7 | 50 | 100 | <50 |
| Hexacloroetano | µg/l | 33,3 | 100 | 3000 | <100 |
| Lindano | µg/l | 6,7 | 20 | 200 | <20 |
| m-Cresol | µg/l | 33,3 | 100 | 200000 | <100 |
| Metoxicloro | µg/l | 6,7 | 20 | 2000 | <20 |
| Nitrobenzeno | µg/l | 33,3 | 100 | 2000 | <100 |
| o-Cresol | µg/l | 33,3 | 100 | 200000 | <100 |
| p-Cresol | µg/l | 33,3 | 100 | 200000 | <100 |
| Pentaclorofenol | µg/l | 13,3 | 40 | 900 | <40 |
| Piridina | µg/l | 33,3 | 100 | 5000 | <100 |
| Toxafeno | µg/l | 13,3 | 40 | 500 | <40 |

Legenda: **LD**: limite de detecção; **LQ**: limite de quantificação; **VMP**: valor máximo permitido.

Laboratório: ASL.

O intuito destes resultados foi verificar a disponibilidade em aterro sanitário. Devido aos ensaios realizados para a classificação de resíduos na massa bruta do lodo, no lixiviado e no solubilizado, o lodo do interior da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho foi classificado como “Resíduo Classe II A – Não perigoso, Não inerte”, ou seja, passível de ser depositado em aterro sanitário. Este mesmo resultado foi apresentado por FRANÇA (2010) para o lodo da lagoa facultativa de Coronel Macedo. À partir destes

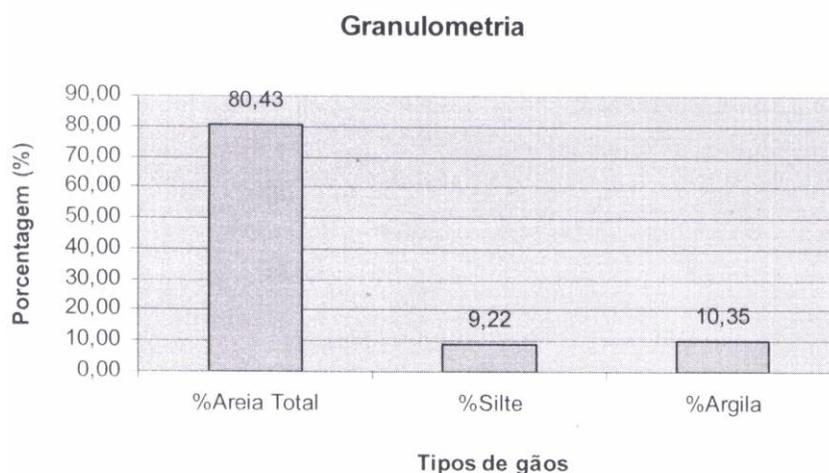
resultados, pôde-se prosseguir com as análises, visando-se à disposição em solo agrícola.

Com exceção dos parâmetros Arsênio, Bário, Fenóis e Ferro encontrados nos testes de solubilização e o parâmetro Fenóis Totais encontrados nos resultados das análises de teste de solubilização (exames físico-químicos), a maioria dos parâmetros apresentam resultados muito baixos, se encontrando, na maioria das vezes, abaixo do limite de quantificação do aparelho ou perto dele.

RESOLUÇÃO CONAMA 344/2004:

Os resultados das análises referentes às coletas do dia 25/11/2008 nos pontos dentro da lagoa anaeróbia (análise composta) da ETE Pedregulho/SP e realizadas pelo Laboratório ASL referente à caracterização pela CONAMA 344/04 (Avaliação do material a ser dragado) estão apresentados nas Tabelas 5.19 à 5.22 e, na Figura 5.6 estão apresentadas as faixas granulométricas do lodo retirado do interior da lagoa anaeróbia. Lembrando que são dados pontuais de amostra composta coletadas em diversos pontos do interior da lagoa anaeróbia, cujos resultados podem sofrer alterações durante o tempo.

Figura 5.6 – Resultados CONAMA 344/04: Análise granulométrica simplificada do lodo da ETE Pedregulho



Os 80,43% de areia apresentados na Figura 5.6 é a soma de 8,59% de areia grossa (>0,62 mm), 40,40% de areia média (0,62 mm a 0,20 mm) e 31,44% de areia fina (0,20 mm a 0,06 mm). Os 9,22% de silte tem um diâmetro de 0,062 mm a 0,002 mm e os 10,4% de argila possui um diâmetro menor que 0,002 mm.

Tabela 5.19 – CONAMA 344/04: Resultados de Metais Pesados e Arsênio

| Parâmetro | Unid. | LD | LQ | Resultado |
|-----------|-------|--------|-------|-----------|
| Arsênio | mg/kg | 1,00 | 3,33 | <3,33 |
| Cádmio | mg/kg | 0,02 | 0,07 | <0,07 |
| Chumbo | mg/kg | 0,07 | 0,23 | 12 |
| Cobre | mg/kg | 0,24 | 0,79 | 28 |
| Cromo | mg/kg | 0,04 | 0,13 | 25 |
| Mercúrio | mg/kg | 0,0003 | 0,005 | <0,005 |
| Níquel | mg/kg | 0,02 | 0,05 | 2 |
| Zinco | mg/kg | 0,04 | 0,12 | 121 |

Legenda: **LD**: limite de detecção; **LQ**: limite de quantificação.

Laboratório: ASL.

Tabela 5.20 – CONAMA 344/04: Resultados Carbono Orgânico Total e Nutrientes

| Parâmetro | Unid. | LD | LQ | VMP | Resultado |
|---------------------------|-------|------|------|----------------------|-----------|
| Carbono Orgânico Total | % | NA | NA | Valor Alerta 10 | 3,95 |
| Nitrogênio Kjeldahl Total | mg/kg | 60 | NA | Valor Alerta 4800 | 19979 |
| Fósforo Total | mg/kg | 0,11 | 0,37 | Valor Alerta 2000 | 706 |

Legenda: **LD**: limite de detecção; **LQ**: limite de quantificação; **NA**: não aplicável; **VMP**: valor máximo permitido.

Laboratório: ASL.

Tabela 5.21 – CONAMA 344/04: Resultados Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

| Parâmetro | Unid. | LD | LQ | Resultado |
|-------------------------|--------------|-----------|-----------|------------------|
| Benzo (a) Antraceno | µg/kg | 1,89 | NA | 55,2 |
| Benzo (a) Pireno | µg/kg | 1,89 | NA | <1,89 |
| Criseno | µg/kg | 1,89 | NA | 55,7 |
| Acenafteno | µg/kg | 1,89 | NA | 51,5 |
| Acenaftileno | µg/kg | 1,89 | NA | 74,3 |
| Antraceno | µg/kg | 1,89 | NA | 55,2 |
| Fenantreno | µg/kg | 1,89 | NA | 757,6 |
| Fluoranteno | µg/kg | 1,89 | NA | 289,8 |
| Fluoreno | µg/kg | 1,89 | NA | 153,2 |
| 2 – Metilnaftaleno | µg/kg | 3,78 | NA | 505,1 |
| Naftaleno | µg/kg | 1,89 | NA | 385,7 |
| Pireno | µg/kg | 1,89 | NA | 156,8 |
| Dibenzo (a,h) Antraceno | µg/kg | 1,89 | NA | <1,89 |

Legenda: **LD**: limite de detecção; **LQ**: limite de quantificação; **NA**: não aplicável.

Laboratório: ASL.

Tabela 5.22 – CONAMA 344/04: Resultados de Pesticidas Organoclorados

| Parâmetro | Unid. | LD | LQ | Resultado |
|-------------------------------|--------------|-----------|-----------|------------------|
| BHC (alta - BHC) | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| BHC (beta - BHC) | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| BHC (Delta - BHC) | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| BHC (Gama- BHC/lindano) | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| Clordano (Alfa) | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| Clordano(Gama) | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| DDD | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| DDE | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| DDT | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| Dieldrin | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| Endrin | µg/kg | 0,126 | NA | <0,126 |
| Bifenilas Policloradas Totais | µg/kg | 0,13 | NA | <0,13 |

Legenda: **LD**: limite de detecção; **LQ**: limite de quantificação; **NA**: não aplicável.

Laboratório: ASL.

Os resultados dos ensaios realizados de classificação conforme CONAMA 344/04 (Avaliação do material a ser dragado) apontam semelhança com alguns resultados apresentados conforme ABNT NBR 10.004:2004 (completa) para os itens em comum como, por exemplo, Benzo (a) pireno, Lindano, Clordano, DDT, Dieldrin, Endrin, Arsênio, Cádmiio e Mercúrio.

Dos 13 parâmetros da caracterização química referentes aos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos 10 apresentaram valores acima do VMP para água doce nível 1 que são: Benzo (a) Antraceno, Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, 2-Metilnaftaleno, Naftaleno e Pireno.

No entanto, o que mais chamou a atenção foi o resultado de Nitrogênio Kjeldahl Total de 19.979 mg/kg, por estar acima do VMP de 4.800 mg/kg (valor alerta), mesmo a Res. CONAMA 344/04 não servir como referência para aplicação no solo agrícola.

5.5 ENSAIOS RESPIROMETRICOS

O experimento consistiu na quantificação diária da produção de CO₂ pelo processo metabólico da microbiota do solo no consumo da matéria orgânica. Foi verificado junto a estas amostras, as análises do solo e do lodo já estabilizado da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho, prevendo-se as taxas de aplicação, quanto a concentração de C, N e umidade do lodo.

Os resultados das determinações de Carbono, Nitrogênio e teor de umidade do lodo, utilizados como referência para a primeira respirometria, são apresentados na Tabela 5.23, executados pelo IAC – Instituto Agronômico de Campinas, conforme coleta realizada dia 24/11/2008 no interior da lagoa anaeróbia.

Tabela 5.23 - Concentração de Carbono, Nitrogênio e umidade do lodo

| Parâmetro | Unidade | A2 MEIO | B5 MEIO | D1 MEIO | D9 0,2 m | C7 FUNDO | C8 MEIO | A2 0,2 m | B4 FUNDO | A2 FUNDO |
|---------------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Umidade | % | 87,9 | 83,9 | 88 | 82,8 | 83,8 | 85,4 | 88,9 | 69 | 82,4 |
| Carbono orgânico | g de C/kg | 375 | 192 | 331 | 230 | 241 | 270 | 342 | 126 | 345 |
| Nitrogênio Kjeldahl | g de N/kg | 30,8 | 18,8 | 32 | 19,9 | 18,2 | 22,6 | 33 | 12,5 | 25,5 |

| Parâmetro | Unidade | B6 0,2 m | D1 FUNDO | D9 MEIO | C8 0,2 m | D6 MEIO | B4 MEIO | B5 FUNDO | MÉDIA |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Umidade | % | 90 | 78,9 | 89,9 | 89,9 | 89 | 97,9 | 80,5 | 83,7 |
| Carbono orgânico | g de C/kg | 367 | 326 | 239 | 239 | 346 | 274 | 221 | 263 |
| Nitrogênio Kjeldahl | g de N/kg | 30,9 | 28 | 33,3 | 33,3 | 38,3 | 30,8 | 19,6 | 23,5 |

Laboratório: IAC (2009).

Para este ensaio foram escolhidos resultados aleatórios em 16 pontos de lodo coletados no interior da lagoa anaeróbia.

Na tabela 5.24, são apresentados alguns resultados diários da primeira respirometria, conforme coleta realizada dia 11 e 12 de agosto de 2010 e análises realizadas pelo Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp de Carbono degradado (mg) em 91 dias de experimento.

Tabela 5.24 - 1.^a Respirometria - Quantidade de CO₂ liberado por tratamento (mg)

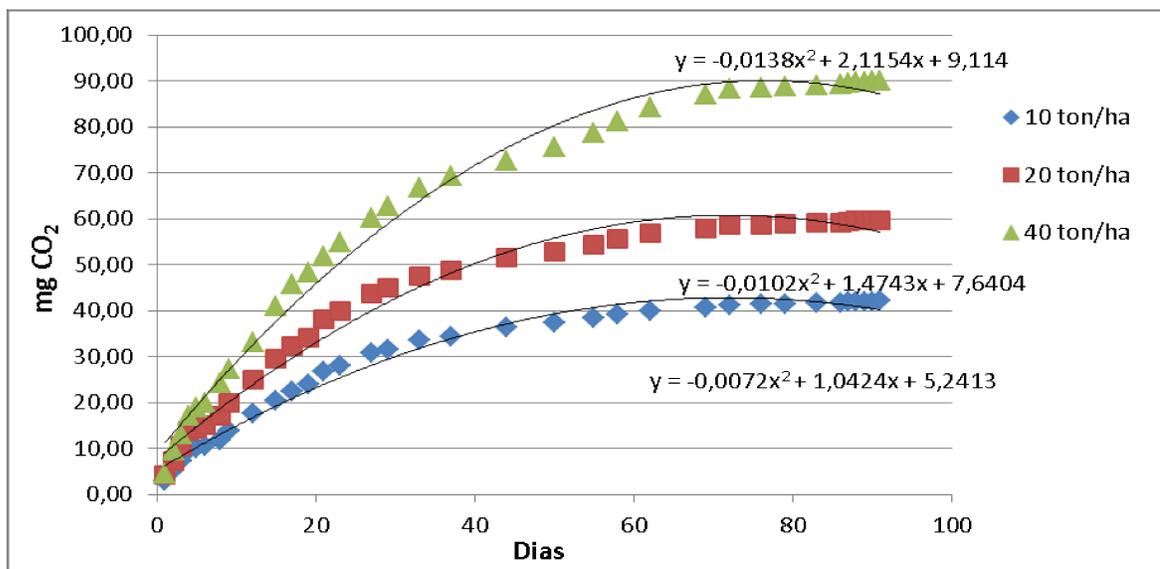
| Tratamento | Tx. Aplicação (ton/hectare) | DIA (resultado em mg de CO ₂) | | | | |
|------------|--------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 12 | 17 | 27 | 37 |
| 10 t/ha | 10 | 2,96 | 17,52 | 22,51 | 30,79 | 34,44 |
| 20 t/ha | 20 | 4,18 | 25,00 | 32,29 | 43,80 | 48,84 |
| 40 t/ha | 40 | 4,36 | 33,11 | 45,63 | 60,07 | 69,31 |

| Tratamento | Tx. Aplicação (ton/hectare) | DIA (resultado em mg de CO ₂) | | | | |
|------------|--------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | 44 | 58 | 69 | 79 | 91 |
| 10 t/ha | 10 | 36,43 | 39,07 | 40,66 | 41,43 | 42,05 |
| 20 t/ha | 20 | 51,59 | 55,50 | 57,81 | 58,87 | 59,76 |
| 40 t/ha | 40 | 72,44 | 81,16 | 87,04 | 88,68 | 90,02 |

Laboratório: LABREUSO – FEC/UNICAMP (2010).

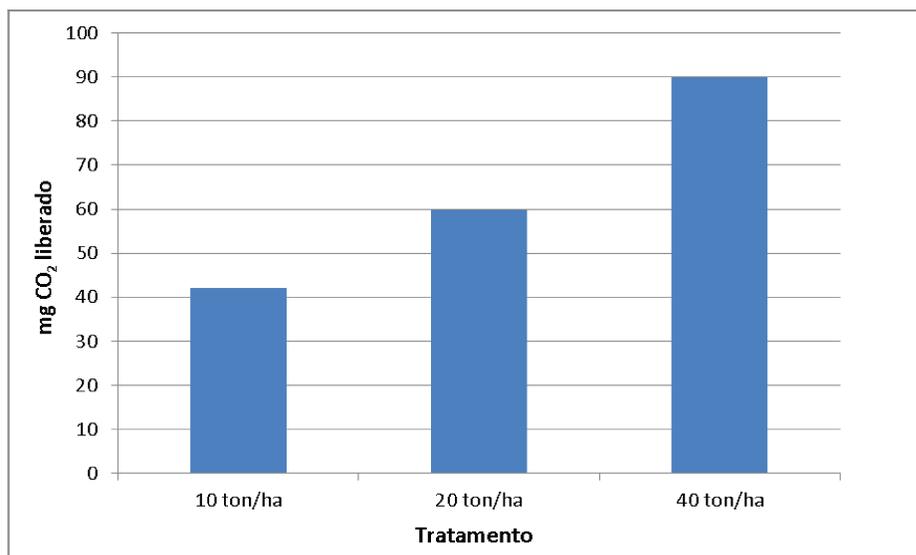
As Figuras 5.7 e 5.8 apresentam os resultados cumulativos mensurados na primeira respirometria, em gráficos com a evolução de CO₂ liberado por tipo de tratamento, conforme amostra de solo incubado com o lodo nas diferentes concentrações (taxa de aplicação agrícola).

Figura 5.7 - 1.^a Respirometria - Evolução de CO₂ (mg) na amostra de solo incubado com o lodo nas diferentes concentrações



Laboratório: LABREUSO - FEC/UNICAMP.

Figura 5.8 - 1.^a Respirometria - Valores totais cumulativos do período analisado (91 dias), por tratamento



Laboratório: LABREUSO – FEC/UNICAMP.

Na Tabela 5.25, é apresentado o percentual de degradação de CO₂ da primeira respirometria realizada, após 91 dias.

Tabela 5.25 - 1.^a Respirometria - Percentual de degradação em 91 dias

| Tratamento | C adicionado via resíduo (mg) | C degradado (mg) após 91 dias | % de degradação |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 10 t/ha | 44,3 | 42,053 | 95,00% |
| 20 t/ha | 88,5 | 59,76 | 67,50% |
| 40 t/ha | 177,1 | 90,021 | 50,80% |

Laboratório: LABREUSO - FEC/UNICAMP (2012).

Como pode ser observado nas Figuras 5.7 e 5.8 e nas Tabelas 5.24 e 5.25, a degradação após 91 dias, para todos os tratamentos, foram muito superiores ao estipulado pela norma ABNT, no qual o tratamento com taxa de 10 t/ha degradou 95% do Carbono enquanto que o tratamento com taxa de 40 t/ha degradou 50,8%.

Nesta primeira respirometria, os 30% de degradação exigido pela norma se deu no 10.^o dia para a taxa de aplicação agrícola de 10 t/ha, no 16.^o dia para a taxa de 20 t/ha e no 26.^o dia para a taxa de 40 t/ha.

Na Tabela 5.26 são apresentados resultados das análises de Carbono, Nitrogênio e umidade do lodo e do solo escolhido, realizado pelo Laboratório do IAC – Instituto Agrônomo de Campinas, conforme coleta realizada em 19/04/2012, visando auxiliar na segunda respirometria.

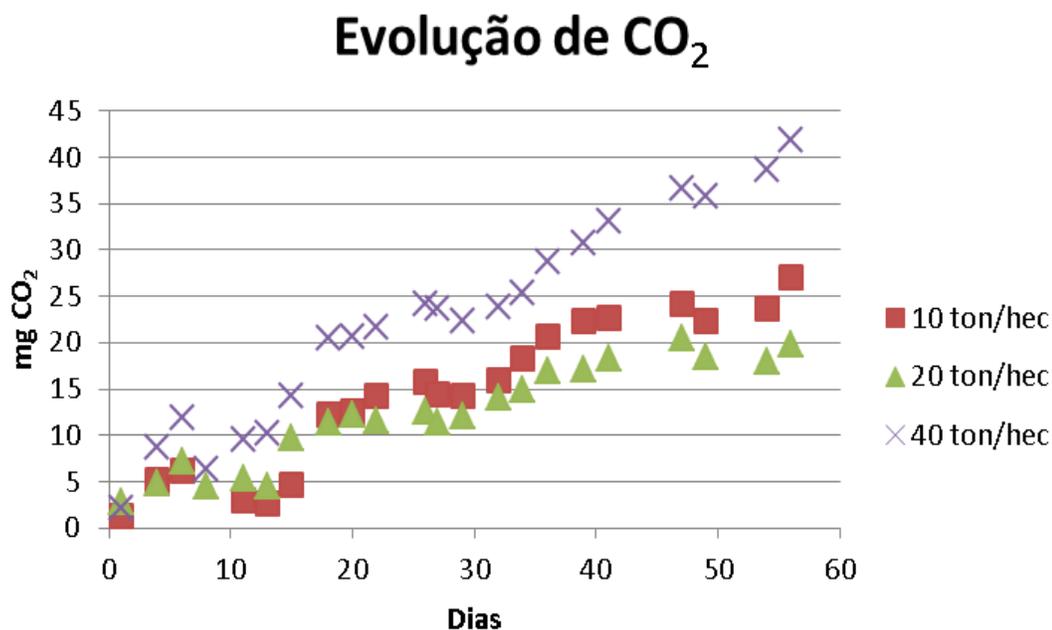
Tabela 5.26 - Concentração de Carbono, Nitrogênio e umidade - 2^a Respirometria

| Parâmetro | Unidade | No lodo dos bags | No solo escolhido |
|---------------------|-----------|------------------|-------------------|
| Umidade | % | 69,3 | 19,6 |
| Carbono orgânico | g de C/kg | 277 | 7,4 |
| Nitrogênio Kjeldahl | g de N/kg | 29,5 | 1,8 |

Laboratório: IAC (2012).

A segunda respirometria, conforme coleta realizada em 18/04/2012, permitiu fazer um comparativo com a realizada anteriormente e, verificar a possível aplicação em solo agrícola. Os resultados de 56 dias são apresentados na Figura 5.9.

Figura 5.9 - 2.ª Respirometria - Evolução de CO₂ (mg) na amostra de solo incubado com o lodo nas diferentes concentrações



Laboratório: LABREUSO - FEC/UNICAMP (2012).

Na Tabela 5.27 é apresentado o percentual de degradação de CO₂ após 56 dias.

Tabela 5.27 - 2.ª Respirometria - Percentual de degradação em 56 dias

| Tratamento | C adicionado via resíduo (mg) | C degradado (mg) | % |
|------------|-------------------------------|------------------|-------|
| 10 t/ha | 32,7 | 26,951 | 82,4% |
| 20 t/ha | 65,4 | 19,846 | 30,3% |
| 40 t/ha | 130,8 | 41,906 | 32,0% |

Laboratório: LABREUSO - FEC/UNICAMP (2012).

De acordo com a NBR 14283/99, a quantidade de carbono biodegradado deve ser calculada admitindo-se que 50% do mesmo se transforme em CO₂ e que os 50% remanescentes se incorporam ao solo sob a forma de húmus e biomassa. Dessa forma foi apresentado os resultados finais mostrando a porcentagem de degradação e a quantidade do carbono degradado.

Na Tabela 5.28 é apresentado um comparativo entre o percentual de degradação da primeira respirometria para com a segunda respirometria, por quantidade de lodo a ser aplicada no solo, trazidas para a mesma base (56 dias).

Tabela 5.28 - Comparativo das respirometrias - Percentual de degradação após 56 dias

| Tratamento | 1.ª respirometria | | | 2.ª respirometria | | |
|------------|-------------------------------|--|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | C adicionado via resíduo (mg) | C estimado degradado (mg) após 56 dias | % estimado de degradação | C adicionado via resíduo (mg) | C degradado (mg) após 56 dias | % de degradação |
| 10 t/ha | 44,3 | 38,63 | 87,20% | 32,7 | 26,951 | 82,4% |
| 20 t/ha | 88,5 | 54,80 | 61,92% | 65,4 | 19,846 | 30,3% |
| 40 t/ha | 177,1 | 79,50 | 44,89% | 130,8 | 41,906 | 32,0% |

Laboratório: LABREUSO - FEC/UNICAMP (2012).

A Tabela 5.29 apresenta um comparativo entre as datas em que houve a degradação de 30% de CO₂, obedecendo ao estipulado pela norma ABNT NBR 14.283/99, item 4.5.6 que menciona que resíduos que apresentam eficiência de biodegradação acima de 30% são passíveis de serem tratados no solo, podendo ser adotadas em escala piloto para um futuro sistema de tratamento de resíduos no solo.

Tabela 5.29 - Comparativo das respirometrias - dias com ocorrência de 30% de degradação de CO₂

| Tratamento | 1.^a Respirometria | 2.^a Respirometria |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 10 t/ha | 9 dias | 18 dias |
| 20 t/ha | 14 dias | 56 dias |
| 40 t/ha | 22 dias | 54 dias |

Laboratório: LABREUSO - FEC/UNICAMP (2012).

Estes resultados apresentados mostram que, a quantidade de carbono inserida via resíduo na segunda respirometria, foi diferente da primeira respirometria, ficando menor que a anterior. Possivelmente, o lodo, estando no interior dos *bags*, sofreu a ação de micro-organismos, ocorrendo o processo de consumo da matéria orgânica, fato este vantajoso para o acondicionamento em *bags*. Dessa forma, a quantidade de carbono presente no lodo após sua passagem pelos *bags* era menor que na primeira análise, ocorrida 20 meses atrás.

Outra observação a ser feita é que, após o período de 20 meses dentro dos *bags*, o lodo demorou mais tempo para ser biodegradado nos ensaios de respirometria. Isso pode ter acontecido uma vez que, nos *bags*, por ação dos micro-organismos, houve consumo da matéria orgânica mais facilmente biodegradável, restando um carbono orgânico presente possivelmente em moléculas orgânicas mais complexas, o que requer um tempo maior para a ação dos micro-organismos presentes no solo. Este fato é bom pois mostra a capacidade de biodegradação do lodo.

Mesmo assim, após mais de 3 anos armazenado nos *bags*, nota-se que, para a taxa de aplicação de 10 t/ha apresentada na segunda respirometria, o lodo teve uma degradação maior do que 30% em apenas 18 dias, indicando que, nesta concentração, o lodo não trás prejuízos à microbiota do solo. Para as demais taxas de aplicação foi necessário um tempo maior de análise, porém, em torno de apenas 55 dias, indicando que o percentual de degradação seria os mesmos ou ficaria bem próximos independente de qual fosse a quantidade de lodo aplicado no solo (20 ou 40 t/ha).

A análise da figuras 5.28 demonstra que, embora tenha havido uma diminuição da porcentagem de degradação do carbono, à medida em que se aumentou a taxa de aplicação do lodo, em todos os tratamentos empregados, a biodegradação atende o valor recomendado pela norma, que é de 30%.

5.6 CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS NOS BAGS CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA 375/06

Os resultados das análises realizadas para a caracterização pela Res. CONAMA 375/06, para os três *bags*, do lodo coletado dia 02/05/2012, visando-se destinação e realizados pelo Laboratório Bioagri, são apresentadas nas Tabelas 5.30 a 5.35.

Tabela 5.30– Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos - caracterização do lodo

| Substância | Unidade | BAG NACIONAL | BAG IMPORTADO | BAG ALTERNATIVO |
|---------------------------|---------|--------------|---------------|-----------------|
| pH (Suspensão a 5%) | - | 3,6 | 6,6 | 3,8 |
| Umidade | % p/p | 51,1 | 73,7 | 44,9 |
| Carbono Orgânico Total | % p/p | 14 | 7,7 | 16 |
| Nitrato (como N) | mg/kg | 140 | 14 | 172 |
| Nitrito (como N) | mg/kg | < 0,6 | 1,7 | < 0,4 |
| Nitrogênio Amoniacal | mg/kg | 965 | 539 | 110 |
| Nitrogênio Total Kjeldahl | mg/kg | 19291 | 106939 | 15442 |
| Cálcio | mg/kg | 7419 | 5926 | 2700 |
| Enxofre | mg/kg | 3689 | 3882 | 4664 |
| Fósforo | mg/kg | 7550 | 7016 | 7066 |
| Magnésio | mg/kg | 639 | 1244 | 513 |
| Potássio | mg/kg | 687 | 759 | 442 |
| Sódio | mg/kg | 157 | 287 | < 50 |
| Sólidos Totais | % p/p | 48,9 | 26,3 | 55,1 |
| Sólidos Voláteis | % p/p | 24,6 | 13,9 | 28,7 |
| Condutividade Solução 5% | µS/cm | 1297 | 529 | 545 |

Laboratório: Bioagri (2012).

Tabela 5.31– Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos - substâncias inorgânicas no lodo (mg/kg, base seca)

| Substâncias Inorgânicas | CONAMA 375/06 | BAG NACIONAL | BAG IMPORTADO | BAG ALTERNATIVO |
|-------------------------|---------------|--------------|---------------|-----------------|
| Arsênio | 41 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Bário | 1300 | 322 | 396 | 365 |
| Cádmio | 39 | < 0,1 | < 0,19 | < 0,1 |
| Chumbo | 300 | 68 | 73 | 75 |
| Cobre | 1500 | 234 | 261 | 245 |
| Cromo | 1000 | 71 | 70 | 66 |
| Mercúrio | 17 | 3,4 | 3,01 | 3,03 |
| Molibdênio | 50 | 8,3 | 6,6 | 5,8 |
| Níquel | 420 | 20 | 17 | 12 |
| Selênio | 100 | < 1 | <1 | < 1 |
| Zinco | 2800 | 420 | 570 | 101 |

Laboratório: Bioagri (2012).

Para os resultados apresentados de metais, em todos os parâmetros e, em todos os *bags*, os valores atendem ao exigido pela Resolução CONAMA 375/06.

Tabela 5.32– Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – agentes patogênicos

| Agentes | Unidade | CONAMA 375/06 | BAG NACIONAL | BAG IMPORTADO | BAG ALTERNATIVO |
|--|------------------|---------------|--------------|---------------|-----------------|
| Porcentagem de Sólidos | % p/p | - | 35,7 | 22,9 | 39,3 |
| Enterovírus | UFP/g de ST | 0,25 | Ausência | Ausência | Ausência |
| Ovos Viáveis de Helmintos | ovos/gST | 0,25 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| Coliformes Termotolerantes (<i>E.coli</i>) | NMP/g de ST | 1000 | < 0,8 | 2563 | < 0,6 |
| <i>Salmonella</i> | P/A em 10g de ST | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |

Laboratório: Bioagri (Coliformes, Helmintos e *Salmonella*) e Beckhauser & Barros (Enterovírus).

Nos resultados analíticos apresentados de agentes patogênicos, com exceção dos Coliformes Termotolerantes (*E. coli*) apenas para o *Bag* Importado, os demais parâmetros, em todos os *bags*, atendem ao exigido pela Resolução CONAMA 375/06.

Tabela 5.33 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – substâncias orgânicas (Benzenos clorados) em mg/kg

| Substâncias | CONAMA 375/06 Concentração permitida no solo | BAG NACIONAL | BAG IMPORTADO | BAG ALTERNATIVO |
|---------------------------|--|-----------------|------------------|--------------------|
| 1,2-Diclorobenzeno | 0,73 | < 0,02 | < 0,04 | < 0,02 |
| 1,3-Diclorobenzeno | 0,39 | < 1,02 | < 1,9 | < 0,91 |
| 1,4-Diclorobenzeno | 0,39 | < 1,02 | < 1,9 | < 0,91 |
| 1,2,3-Triclorobenzeno | 0,01 | < 0,02 | < 0,04 | < 0,02 |
| 1,2,4-Triclorobenzeno | 0,011 | < 0,02 | < 0,04 | < 0,02 |
| 1,3,5-Triclorobenzeno | 0,5 | < 0,02 | < 0,04 | < 0,02 |
| 1,2,3,4-Tetraclorobenzeno | 0,16 | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno | 0,01 | < 1,02 | < 1,9 | < 0,91 |
| 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno | 0,0065 | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| 2,3,7,8-TetraCDF | | < 0,085 | < 0,085 | < 0,085 |
| 1,2,3,7,8-PentaCDF | | < 0,059 | < 0,059 | < 0,059 |
| 2,3,4,7,8-PentaCDF | | < 0,053 | < 0,053 | < 0,053 |
| 1,2,3,4,7,8-HexaCDF | | < 0,082 | < 0,082 | < 0,082 |
| 1,2,3,6,7,8-HexaCDF | | < 0,065 | < 0,065 | < 0,065 |
| 1,2,3,7,8,9-HexaCDF | | < 0,063 | < 0,063 | < 0,063 |
| 2,3,4,6,7,8-HexaCDF | | < 0,076 | < 0,076 | < 0,076 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF | | 47,2 | 56,2 | 50 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF | | < 0,097 | < 0,097 | < 0,097 |
| OctaCDF | | < 0,0815 | 58,8 | 64,5 |
| 2,3,7,8-TetraCDD | | < 0,109 | < 0,109 | < 0,109 |
| 1,2,3,7,8-PentaCDD | | < 0,0115 | < 0,115 | < 0,115 |
| 1,2,3,4,7,8-HexaCDD | | < 0,075 | < 0,075 | < 0,075 |
| 1,2,3,6,7,8-HexaCDD | | < 0,132 | < 0,132 | < 0,132 |
| 1,2,3,7,8,9-HexaCDD | | < 0,112 | < 0,112 | < 0,112 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD | | 79,6 | 102 | 129 |
| OctaCDD | | 676 | 806 | 1136 |

Laboratório: Bioagri (2012).

Tabela 5.34 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – substâncias orgânicas (Ésteres de ftalatos, Fenóis e Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) em mg/kg

| Substâncias | CONAMA 375/06 Concentração permitida no solo | BAG NACIONAL | BAG IMPORTADO | BAG ALTERNATIVO |
|--|---|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Ésteres de ftalatos | | | | |
| Di-n-butil ftalato | 0,7 | < 1,02 | < 1,9 | < 0,91 |
| Di (2-etilhexil)ftalato | 1 | 26 | 11 | 4,3 |
| Dimetil ftalato | 0,25 | < 1,02 | < 1,9 | < 0,91 |
| Fenóis não clorados | | | | |
| Cresóis | 0,16 | 2,05 | < 0,569 | < 0,0272 |
| Fenóis clorados | | | | |
| 2,4-Diclorofenol | 0,031 | < 0,51 | < 0,95 | < 0,45 |
| 2,4,6-Triclorofenol | 2,4 | < 1,02 | < 1,9 | < 0,91 |
| Pentaclorofenol | 0,16 | < 0,51 | < 0,95 | < 0,45 |
| Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos | | | | |
| Benzo(a)antraceno | 0,025 | 0,206 | < 0,38 | < 0,18 |
| Benzo(a)pireno | 0,052 | 0,309 | < 0,38 | 0,183 |
| Benzo(a)fluoranteno | 0,38 | 0,486 | < 0,38 | 0,206 |
| Indeno(1,2,3-c,d)pireno | 0,031 | 0,305 | < 0,38 | < 0,18 |
| Naftaleno | 0,12 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Fenantreno | 3,3 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Lindano | 0,001 | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| Benzo(g,h,i)perileno | | 0,311 | < 0,38 | < 0,18 |
| Benzo(k)fluoranteno | | 0,308 | < 0,38 | < 0,18 |
| Fluoranteno | | 0,287 | < 0,38 | < 0,18 |
| Pireno | | 0,274 | < 0,38 | < 0,18 |
| Acenafteno | | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Acenaftileno | | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Antraceno | | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Criseno | | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Dibenzo(a,h)antraceno | | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Fluoreno | | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |

Laboratório: Bioagri (2012).

Tabela 5.35 – Res. CONAMA 375/06: Resultados analíticos – substâncias orgânicas (Poluentes orgânicos persistentes – POP's) em mg/kg

(continua)

| Substâncias | BAG | BAG | BAG |
|---------------------------------|----------|-----------|-------------|
| | NACIONAL | IMPORTADO | ALTERNATIVO |
| Aldrin + Dieldrin | < 0,102 | < 0,379 | < 0,181 |
| Endrin | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| Clordano | < 0,0204 | < 0,0759 | < 0,0362 |
| Heptacloro | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| DDT | < 0,102 | < 0,379 | < 0,181 |
| Toxafeno | <0,04 | <0,08 | < 0,04 |
| Mirex | < 10 | < 10 | < 10 |
| Dodecacloropentaciclodecano | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| Heptacloro e Heptacloro Epóxido | < 102 | < 0,379 | < 0,181 |
| Hexaclorobenzeno | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| PCB 101 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 105 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 114 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 118 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 126 + PCB 166 | < 0,0204 | < 0,0759 | < 0,0362 |
| PCB 128 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 138 + PCB 158 | < 0,0204 | < 0,0759 | < 0,0362 |
| PCB 153 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 156 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 169 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 170 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 179 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 180 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 183 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 28 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 37 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 44 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 49 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 52 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 60 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |

| Substâncias | (conclusão) | | |
|--|-------------|-----------|-------------|
| | BAG | BAG | BAG |
| | NACIONAL | IMPORTADO | ALTERNATIVO |
| PCB 66 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 70 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 74 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 77 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 8 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 82 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 87 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| PCB 99 | < 0,0102 | < 0,0379 | < 0,0181 |
| Dioxinas e Furanos | Ausência | Ausência | Ausência |
| Dioxinas e Furanos WHO(1998)- PCDD/F-TEQ incl. LQ | 1,65 | 1,98 | 2,22 |
| Dioxinas e Furanos WHO(1998)- PCDD/F-TEQ excl. LQ | 1,34 | 1,66 | 1,91 |
| Dioxinas e Furanos WHO(2005)- PCDD/F-TEQ incl. LQ | 1,77 | 2,28 | 2,61 |
| Dioxinas e Furanos WHO(2005)- PCDD/F-TEQ excl. LQ | 1,47 | 1,99 | 2,32 |
| Dioxinas e Furanos TEQ- NATO/CCMS (incl.LQ) | 2,2 | 2,69 | 3,24 |
| Dioxinas e Furanos TEQ- NATO/CCMS (excl.LQ) | 1,94 | 2,44 | 2,99 |

Laboratório: Bioagri (2012).

É importante ressaltar que foram realizadas coletas pontuais de lodo de esgoto dentro dos 3 *bags* visando caracterização, conforme preconiza a Resolução CONAMA 375/06 e que, no caso da aplicação do lodo na agricultura, existe a necessidade da existência de uma Unidade Gerenciadora de Lodo – UGL licenciada pelo órgão ambiental competente (artigo 9º - Res. CONAMA 375/06) e que haja uma frequência de monitoramento das características dos lodos de esgotos a serem aplicados (artigo 10º - Res. CONAMA 375/06).

No caso dos resultados das análises realizadas e apresentadas nas Tabelas 5.30 a 5.35, a norma está sendo seguida em sua totalidade, cujos resultados discutidos

indicam uma tendência de atendimento, porém, a própria norma não submete a procedimentos estatísticos. O custo das análises são altos, o que dificulta um maior acompanhamento dos resultados.

Aos valores apresentados como resultados do lodo de esgotos para as concentrações de substâncias orgânicas, conforme Tabela 5.33 a 5.35, deve-se sempre levar em consideração que, a norma menciona a concentração máxima em solos agrícolas, no qual o lodo ainda deve ser adicionado ao solo escolhido para realizar a caracterização final. Conforme se observa, para algumas substâncias, o limite de quantificação do aparelho está acima do valor permitido pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA o que poderia, numa análise preliminar, ser interpretado com um valor ruim, mas o lodo ainda deve ser incorporado ao solo para uma conclusão final. O mesmo se aplica para valores apresentados um pouco acima do estipulado pela norma e acima do LQ como é o caso de Cresóis Totais, Di(2-etilhexil)ftalato, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno e Indeno(1,2,3,cd)pireno.

Mesmo se o resultado apresentado para o lodo for exatamente o LQ (o que pode não ser o caso), ao se misturar o lodo com o solo, poderíamos interpretar que os valores estariam dentro do exigido pela norma. Mesmo ao aplicarmos o lodo no solo à uma taxa de lodo de 40 t/ha, o lodo representaria muito pouco do volume total, em torno de 2% do total (solo + lodo) para profundidade de 0 a 20 cm de solo, fazendo com que os valores só ficariam acima do permitido pela Resolução CONAMA 375/06 – MMA se o solo a ser aplicado tiver concentrações destas substâncias iguais, muito próximas ou mais altas do que os valores permitidos pela norma.

Mesmo assim, deve ser acompanhado os resultados das substâncias 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno e Lindano, especialmente ao se optar por aplicar à taxa de 40 t/ha, cujo valor permitido pela norma é de 0,01 mg/kg e 0,001 mg/kg, respectivamente, no solo.

Também é importante ressaltar que, os valores para os LQ's não são fixos, pois consideram variáveis relacionadas com o tipo de matriz trabalhada (sensibilidade do equipamento, pesagens, diluições, digestões e outras variações do preparo da amostra). Os LQ's de alguns compostos orgânicos não atenderam os limites exigidos pela norma, devido interferência por parte de componentes das matrizes, que elevaram as linhas de base dos cromatogramas e apresentaram picos não condizentes com os padrões utilizados para a identificação dos picos. Esta interferência é uma limitação da técnica e está descrita no item 1.5 do Método EPA8270D utilizado como referência para realização destas análises.

À partir dos resultados de sólidos totais e sólidos voláteis apresentados na Tabela 5.30 percebe-se que a relação SV/ST média dos lodos dos 3 *bags* é de 0,516, ou seja, está dentro do exigido pela Resolução CONAMA 375/06, para fins de utilização agrícola, no qual o lodo será considerado estável se a relação SV/ST for inferior a 0,70.

Com relação ao apresentado na Tabela 5.32 para os resultados analíticos de agentes patogênicos, os Coliformes Termotolerantes (*E. coli*) do *Bag* Importado apresentou um resultado de 2.563 NMP/g de ST, valor considerado acima do exigido pela Resolução CONAMA 375/06 – MMA que é de 1.000 NMP/g de ST. Tal fato chamou a atenção por ser apenas em 1 *bag* e porque os resultados dos demais *bags* apresentaram-se muito baixo, abaixo do limite de quantificação do aparelho.

Visando encontrar problemas na amostra ou buscar respostas para tal valor, foi realizada outra coleta do lodo do *Bag* Importado no dia 19/07/2012.

Percebia-se visualmente que o *Bag* Importado tinha maior umidade do que os demais, fato este expressado nos resultados de Porcentagem de Sólidos da Tabela 5.32. Quando da nova coleta, percebeu-se que, nas 2 bocas de entrada do *Bag* Importado, além de ter uma maior concentração de lodo do que no restante do *bag*, havia também um grande acúmulo de água, que pode ter entrado pela ação das chuvas, diretamente pelas bocas de entrada. Devido a isto, foi realizada esta nova

coleta de lodo em pontos diferentes da anterior, porém, muito próximos dos pontos anteriores. Utilizando um estilete, foram realizados cortes no *bag*, próximo às bocas de entrada, porém, o procedimento de coleta foi o mesmo, sendo em 4 pontos e em 4 profundidades diferentes.

Os resultados estão apresentados na Tabela 5.36, conforme realização pelo Laboratório da ETE-Franca.

Tabela 5.36 – Análise de *E. coli* e Porcentagem de Sólidos – *Bag* Importado

| Ponto | Parâmetro | Unidade | Valor Encontrado |
|----------------------|---|-------------|------------------------|
| <i>Bag</i> Importado | Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>) | NMP/g de ST | 2,40 x 10 ³ |
| | Umidade | % | 70,94 |
| | Sólidos Totais | % | 29,06 |

Laboratório: ETE Franca.

Os resultados desta nova coleta confirma a quantidade de *E. coli* no *Bag* Importado acima do VMP e, a umidade, mesmo sendo menor e estando acima de 70%, continua maior do que dos demais *bags*. Pode-se concluir que, a umidade pode ser um fator determinante na sobrevivência destes agentes patogênicos.

Para o *Bag* Importado pode-se chegar a algumas hipóteses como:

1. O *bag* necessita de mais tempo para percolar todo o líquido do lodo e diminuir a quantidade de coliformes;
2. O *bag* está com problema de desaguamento como, por exemplo, pouca queda do terreno, entupimento dos poros, etc.;
3. O *bag* recebe constante influência da água da chuva;

4. O lodo do *bag* necessita sofrer um processo de redução de coliformes antes de sua aplicação na agricultura, utilizando, por exemplo, a cal hidratada na desinfecção.

Mesmo com o resultado de *E. coli* do *Bag* Importado estar acima do VMP, fato este de fácil correção e, mesmo com a necessidade de criação de unidades gerenciadoras de lodo atendendo a norma, percebe-se que o lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho apresenta resultados satisfatórios com relação à sua utilização agrícola. A necessidade de frequência de monitoramento do lodo a ser aplicado na agricultura (artigo 10º - Res. CONAMA 375/06) poderá corroborar os excelentes resultados apresentados.

Lodos de cidades com características semelhantes, sistema de tratamento semelhante, de portes semelhantes ou de menor porte ou seja, com condições semelhantes às apresentadas nesta pesquisa, tem grande possibilidade de obter resultados semelhantes na caracterização de seus lodos de esgotos visando aplicação agrícola ou, pelo menos, a mesma possibilidade de atender aos parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA 375/06. É claro que, quando se trata de lodo de esgotos, não se pode generalizar, tendo que analisar cada caso, porém, em alguns casos, poderia-se interpretar a aplicação agrícola com maior tranquilidade e, quem sabe, com menor rigor dos órgãos ambientais.

5.7 CARACTERIZAÇÃO DO LODO CONFORME MAPA

Na Tabela 5.37 foram realizadas comparações dos resultados realizados para a caracterização do lodo dos *bags* pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA, conforme coleta de 02/05/2012, pelo laboratório Bioagri, com as exigências do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em especial os anexos IV e V da Instrução Normativa 27/2006.

Tabela 5.37– Comparativo Res. CONAMA 375/06 com MAPA - anexos IV e V da IN 27/06

| Contaminante | Res. CONAMA 375/06 – MMA** | IN 27/06 - Anexo IV - VMP* Substrato para plantas e Condicionador de solo | IN 27/06 - Anexo V – VMP* Fertilizantes Orgânicos | BAG NAC. | BAG IMPORT. | BAG ALTERN. |
|--|-----------------------------------|--|--|-----------------|--------------------|--------------------|
| Arsênio (mg/kg) | 41 | 20,00 | 20,00 | <1 | <1 | <1 |
| Cádmio (mg/kg) | 39 | 8,00 | 3,00 | <1 | <0,19 | <1 |
| Chumbo (mg/kg) | 300 | 300,00 | 150,00 | 68 | 73 | 75 |
| Cromo (mg/kg) | 1000 | 500,00 | 200,00 | 71 | 70 | 66 |
| Mercúrio (mg/kg) | 17 | 2,50 | 1,00 | 3,4 | 3,01 | 3,03 |
| Níquel (mg/kg) | 420 | 175,00 | 70,00 | 20 | 17 | 12 |
| Selênio (mg/kg) | 100 | 80,00 | 80,00 | <1 | <1 | <1 |
| Coliformes termotolerantes (NMP/g de MS) | 1000 | 1.000 | 1.000 | <0,8 | 2.563 | <0,6 |
| Ovos viáveis de helmintos (nº em 4g ST) | 1 | 1 | 1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| <i>Salmonella sp</i> | Ausente | Ausência em 10g de matéria seca | Ausência em 10g de matéria seca | Ausente | Ausente | Ausente |

* VMP: Valor máximo permitido; ** MMA: Ministério do Meio Ambiente

Laboratório: Bioagri (2012).

Além destes dados apresentados, o Anexo IV menciona que, para substrato e condicionadores de solo, devem ser apresentados resultados de sementes ou qualquer material de propagação de ervas daninhas no VMP de 0,5 planta por litro, avaliado em teste de germinação e deve ser verificada a ausência de espécies fitopatogênicas dos fungos do gênero *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia* e *Sclerotinia*.

No caso do mercúrio, os valores apresentam-se acima do permitido constantes do anexo IV (substrato para plantas e condicionadores de solo) e do anexo V (fertilizantes orgânicos) da Instrução Normativa 27/2006. Porém, para uma

caracterização visando à comercialização, produção ou importação, deve ser aplicado o exigido nos anexos I e II, que considera a somatória das percentagens dos micronutrientes do lodo, no cálculo de determinação dos limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos.

Esta instrução normativa admite ainda, tolerâncias limitadas a 30% dos valores definidos, o que também pode ser utilizado para os resultados apresentados de mercúrio.

De acordo com os resultados apresentados, o lodo retirado da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho são passíveis de serem aplicados no solo, podendo ser iniciados os procedimentos para a busca do registro, especificação e classificação junto ao MAPA, bem como as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda, produção e comércio, destinados à agricultura.

Os resultados apresentam uma perspectiva de novos negócios tanto para a empresa detentora dos serviços de saneamento básico no município (Sabesp) como para as demais empresas que possuem sistemas de tratamentos e lodos gerados em condições semelhantes às aqui apresentadas, no qual o lodo deixa de ter um custo de destinação em aterros sanitários, deixa de ocupar espaços nos aterros e passa a ter uma possibilidade de registro, embalagem e venda de um condicionador de solo ou adubo orgânico.

5.8 RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA DO LODO NO *BAG*

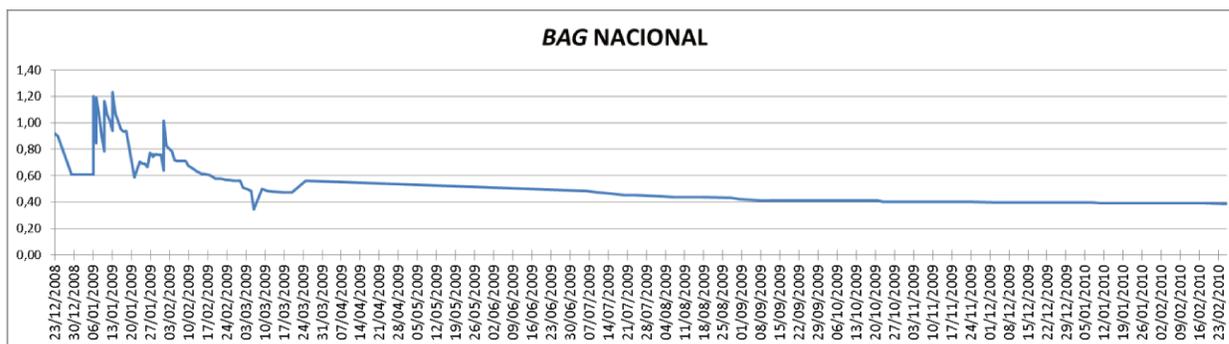
Nas Figuras 5.10 à 5.12 são apresentadas as médias dos pontos de medições das alturas dos *bags* (Nacional, Importado e Alternativo) no período compreendido de 23/12/2008 a 23/02/2010 (14 meses), mostrando a evolução dos *bags* durante o tempo com relação à sua retenção de sólidos e à saída de líquido percolado. Vale lembrar que o bombeamento ocorreu apenas durante o período de 11/12/2008 a 01/02/2009 e que o *Bag* Alternativo rompeu-se em 14/01/2009.

Figura 5.10– Evolução da média das alturas (m) do *Bag* Importado (14 meses)



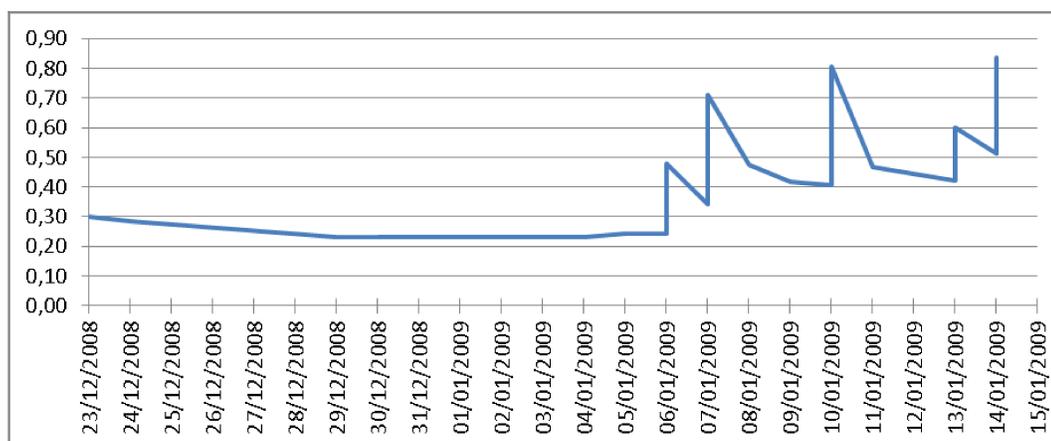
Fonte: Autor (2012).

Figura 5.11– Evolução da média das alturas (m) do *Bag* Nacional (14 meses)



Fonte: Autor (2012).

Figura 5.12– Evolução da média das alturas (m) do *Bag* Alternativo (apenas 23 dias)



Fonte: Autor (2012).

Para se calcular a média das alturas dos *bags*, foram utilizadas as medições dos 05 pontos do *Bag* Nacional, dos 8 pontos de medição do *Bag* Importado e dos 5 pontos do *Bag* Alternativo. Para cada *bag*, o bombeamento ocorreu em horários diferentes dos demais, no qual a bomba era acoplada ao mangote de cada um.

No período de 26/03/09 à 05/07/09 não foram realizadas medições das alturas dos *bags*, nos quais os gráficos da Figura 5.10 e 5.11 apresentaram uma linha de tendência entre uma média conseguida e a outra.

Nos dias em que houveram bombeamento para os *bags*, as medições eram realizadas 2 vezes, uma antes de se iniciar o bombeamento, apresentando o que percolou do dia anterior até aquele momento e depois de terminar o bombeamento, apresentando o quanto o *bag* aumentou de volume (altura). Nos demais dias, as medições eram realizadas em apenas 1 horário, preferencialmente no início da manhã.

Nas Figuras 5.13 a 5.15 são apresentadas as médias das medições das alturas dos *bags* (Nacional, Importado e Alternativo) visando mostrar os períodos e os momentos em que cada *bag* sofreu ação de bombeamento.

Para melhor visualização deste acompanhamento, foi realizado um corte nas medições das alturas, sendo apresentado apenas um período de 55 dias.

Figura 5.13– Evolução do período bombeado para o *Bag* Importado (m)



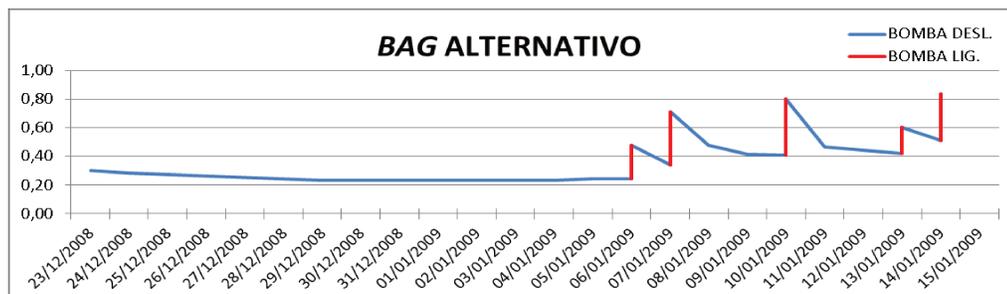
Fonte: Autor (2012).

Figura 5.14– Evolução do período bombeado para o *Bag Nacional* (m)



Fonte: Autor (2012).

Figura 5.15– Evolução do período bombeado para o *Bag Alternativo* (m)



Fonte: Autor (2012).

Analisando o apresentado nas Figuras 5.13 a 5.15, percebe-se que, em alguns momentos, as alturas médias dos *bags* se encontram maiores que a do dia anterior, mesmo em dias em que o *bag* não sofreu ação de bombeamento. Tal fato chama atenção, ficando a dúvida se houve ou não ação das chuvas no interior de cada *bag*.

Para uma melhor análise, foi realizado um gráfico comparativo inserindo os resultados do *Bag Nacional* e do *Bag Importado* com o índice pluviométrico do município de Pedregulho, conforme informações disponibilizadas pelo DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, do ponto de coleta “Faz. Cafelândia” – Prefixo B4-063 (Latitude 20°17’ e Longitude 47°25’) localizado numa altitude de 1010 m e coletado diariamente às 7:00h, conforme Tabela 5.38.

Tabela 5.38– Índice Pluviométrico do município de Pedregulho (mm)

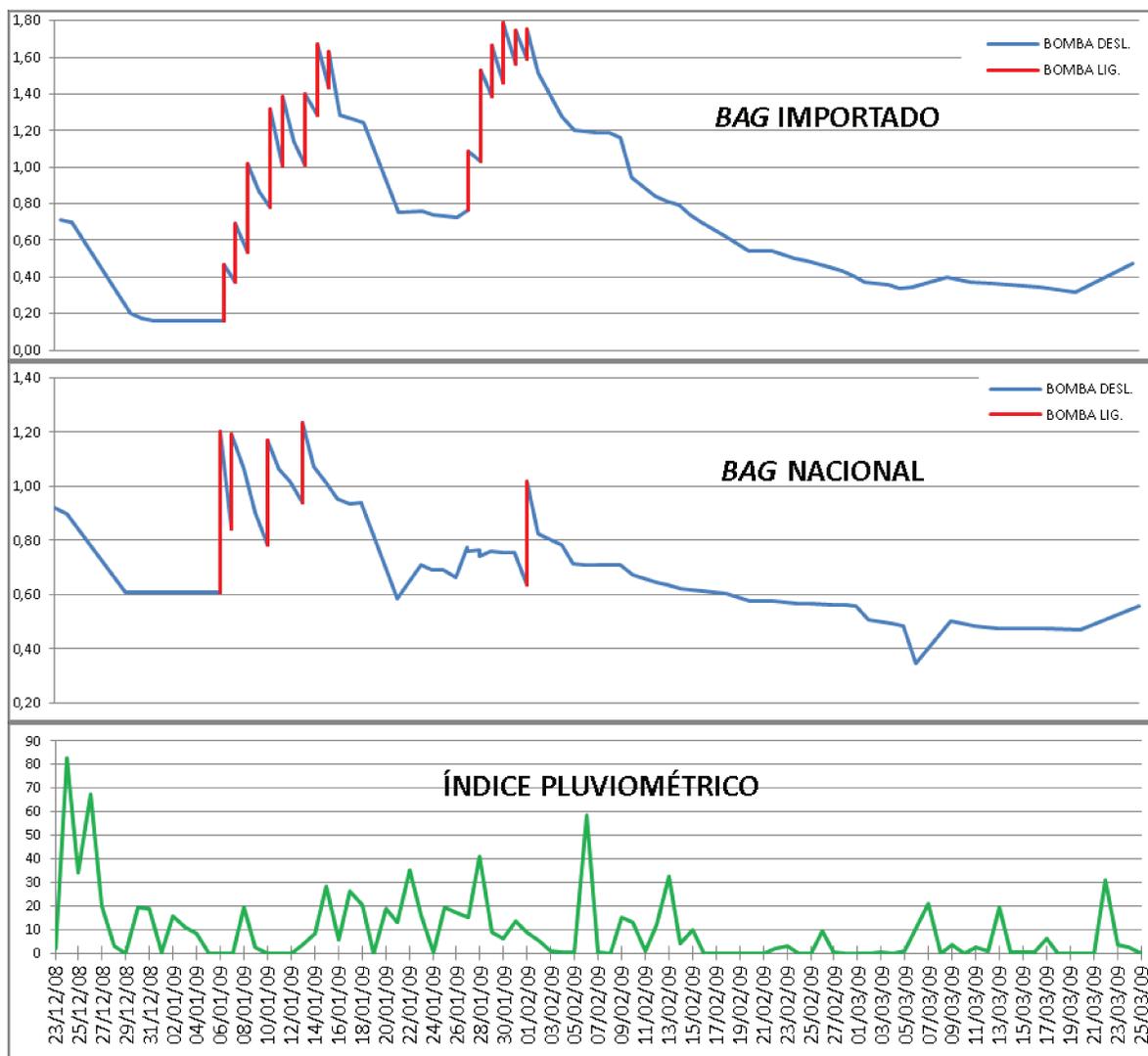
| Ano | 2008 | 2009 | | | | | | | | | | | | 2010 | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Mês | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 0 | 0,3 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,3 | 0,7 | 1,1 | 24,5 | 0 | 3,6 |
| 2 | 14,7 | 15,7 | 4,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,6 | 0,2 | 0 | 0 | 5 |
| 3 | 0 | 10,9 | 0,7 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 15,3 | 26,7 | 0 | 0 | 2 |
| 4 | 0 | 8,1 | 0,4 | 0 | 0 | 11,2 | 0 | 7,5 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 46,9 | 0 | 20,1 | 0,2 |
| 5 | 0 | 0 | 0,3 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,4 | 13,7 | 6 | 0,3 | 8,4 | 0 | 1,6 |
| 6 | 14,6 | 0 | 58,5 | 11,4 | 31,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0,4 | 1,7 | 17,5 | 0,7 | 0 | 0 |
| 7 | 18,8 | 0 | 0,3 | 20,7 | 7,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 6,2 | 7,7 | 2 | 0 | 0 |
| 8 | 10,9 | 19,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 14,4 | 2,3 | 0,5 | 0,9 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 2,6 | 14,9 | 3,6 | 1,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22,7 | 6,5 | 6,7 | 2,9 | 0 | 13,5 | 0,9 |
| 10 | 30 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,8 | 0,4 | 0 | 5 | 0 |
| 11 | 4,3 | 0 | 1,1 | 2,3 | 0 | 0 | 6,1 | 19,2 | 0 | 0 | 0 | 2,5 | 11,2 | 0 | 0,2 | 0 |
| 12 | 8,8 | 0 | 11,7 | 0,9 | 6,2 | 0 | 3,2 | 0 | 0 | 0 | 9,2 | 0,2 | 2,2 | 0 | 0 | 1,8 |
| 13 | 0 | 3,4 | 32,4 | 19,6 | 10,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,9 | 0 | 0 | 0,4 |
| 14 | 7,6 | 8 | 3,9 | 0,4 | 39,8 | 10,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,2 | 12,7 | 0 | 4,9 |
| 15 | 7,8 | 28,3 | 10 | 0,3 | 0 | 2,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 17 | 3,3 | 43,7 | 0 | 0 |
| 16 | 53,2 | 5,8 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0,6 | 43,3 | 0 | 0,3 |
| 17 | 0,5 | 26,2 | 0 | 6,2 | 0 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,4 | 0,4 | 9,2 | 0 |
| 18 | 12,8 | 20,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,8 | 0 | 1,3 | 0 | 0 | 42,3 | 13,7 | 0 |
| 19 | 11,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,4 | 0,5 | 104,7 | 0 | 0 | 3,1 | 2,6 | 0 |
| 20 | 2,7 | 18,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,3 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 1,2 | 9,7 | 0 |
| 21 | 14,9 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | 5,9 | 2,8 | 0 | 2 | 7,8 | 9,6 | 7,4 |
| 22 | 1,6 | 35,3 | 2,1 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 9,2 | 0,7 | 6,4 |
| 23 | 1,7 | 16 | 2,9 | 3,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,4 | 24,6 | 0 | 1,6 | 2,1 | 3,5 | 0 | 0,9 |
| 24 | 82,6 | 0,3 | 0 | 2,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,3 | 0 | 0,2 | 2,6 | 0,9 | 8,6 | 0,3 |
| 25 | 34,1 | 19,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,8 | 19,4 | 0,3 | 5,6 | 0 |
| 26 | 67,3 | 17,2 | 9,5 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 0,2 | 14,6 | 66,8 | 14 | 2,4 |
| 27 | 20 | 15,2 | 0,5 | 18 | 0 | 0 | 11,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13,9 | 7 | 19,2 | 40,7 | 0 |
| 28 | 2,8 | 41 | 0 | 18,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,9 | 0 | 8,9 | 25,2 | 18,8 | 6,6 | 0 |
| 29 | 0 | 8,9 | | 5,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,1 | 13,4 | 43,1 | 7,5 | | 12,9 |
| 30 | 19,5 | 6,3 | | 15,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,6 | 15,1 | 0,5 | | 0,4 |
| 31 | 19 | 13,7 | | 0 | | 4,9 | | 0 | 0 | | 0 | | 12,5 | 0,4 | | 1,1 |

Fonte: DAEE (2012).

Este comparativo das alturas com o índice pluviométrico foi realizado apenas para o período em que foram coletadas leituras diárias das alturas (de 23/12/2008 à 25/03/2009), conforme se observa na Figura 5.16.

Não foi realizado comparativo de outros períodos pelo motivo que, após o dia 25/03/09 foi interrompida as leituras diárias e, somente à partir de 06/07/2009 iniciou-se outro processo de medição das alturas, com espaçamento entre os dias, pois o *bag* já se encontrava praticamente no final da sua capacidade de desaguamento.

Figura 5.16– Comparativo das alturas dos *bags* (m) com o índice pluviométrico (mm)



Fonte: Autor (2012).

Observando a Figura 5.16, durante o processo de desaguamento, provavelmente houve interferência das chuvas no volume dos *bags* e/ou no processo de desaguamento de ambos, tendendo a uma contrariedade ao encontrado na literatura que menciona que a forma do *bag* e o tipo do tecido verte a chuva, evitando o reumedecimento do lodo (ASHWORTH, 2003). Pode-se verificar que, durante o bombeamento não dá para fazer uma relação com as chuvas, pois, os *bags* estavam em processo de enchimento, atrapalhando qualquer análise, porém, ao se observar o período em que os *bags* ficavam apenas em fase de desaguamento, percebe-se sinais de interferências.

No início do gráfico, como o índice pluviométrico foi alto (23 à 27/12/08), houve um retardamento no desaguamento. À medida que o índice pluviométrico foi sendo menor, o desaguamento ocorreu com maior agilidade (29/12/08 à 06/01/09). Este fato também se pode observar no período de 15 à 18/01/2009 nas chuvas do dia 15/01/09 (28,3 mm), dia 16/01/09 (5,8 mm), dia 17/01/09 (26,2 mm) e dia 18/01/09 (20,5 mm), onde houve alteração da curva do gráfico de desaguamento. Em outros períodos também ocorreram tal tendência como, por exemplo, o período de 06 à 10/02/09 que choveu 86,7 mm.

Também se pode verificar que, em alguns dias, após as chuvas, as alturas médias dos *bags* aumentaram, ou seja, o volume do lodo ficou maior possivelmente devido ao aumento da umidade recebida. Tal fato se pode observar nos dias 16/01/09, 23/01/09, 27/01/09 (3 dias de chuvas) e 29/01/09 (após chover 41 mm), porém, os casos mais claros de se observar ocorreram nos períodos de 06 à 09 de março (choveu 36,7 mm) e de 20 à 25/03/2009 (choveu 36,8 mm) pois os *bags* já estavam a mais de 30 dias sem bombeamento, apenas desaguando e, suas alturas médias estavam consideravelmente baixas, de fácil percepção da entrada de água de chuva.

Estes fatos puderam ser observados durante visitas rotineiras ao local do experimento onde, no período seco, o lodo da parte de cima do *bag* estava aparentemente duro e, no período das chuvas, umedecido.

5.9 ANÁLISE DO LÍQUIDO PERCOLADO DOS *BAGS*

Os resultados das análises do líquido que percolava dos *bags* para a caixa de percolado, conforme coletas realizadas dia 07/01/2009 e 02/02/2009 e análises realizadas pelo Laboratório Bioagri, são apresentadas na Tabela 5.39.

Tabela 5.39– Resultados analíticos do líquido percolado dos *bags*

| Parâmetros | Unidade | <i>Bag</i> Alternativo | <i>Bag</i> Nacional | | <i>Bag</i> Importado | | |
|------------------------|-----------|---------------------------|---------------------|------------|----------------------|------------|--------|
| | | 07/01/2009 | 07/01/2009 | 02/02/2009 | 07/01/2009 | 02/02/2009 | |
| Sólidos Totais | mg/L | 428 | 460 | 196 | 419 | 128 | |
| Colif. Termotolerantes | NMP/100mL | 10000 | 291 | 2280 | 30000 | 43520 | |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 309000 | 43600 | 241900 | 144000 | 104620 | |
| Cor | Pt/Co | 111 | 91 | 165 | 149 | 270 | |
| pH (a 20°C) | --- | 7,19 | 8,02 | 7,09 | 8,56 | 7,60 | |
| Turbidez | NTU | 3,7 | 0,76 | 16 | 8,0 | 20 | |
| Metais | Prata | mg/L | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| | Cádmio | mg/L | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| | Cromo | mg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| | Cobre | mg/L | <0,005 | 0,009 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| | Chumbo | mg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| | Zinco | mg/L | 0,012 | 0,010 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| | Níquel | mg/L | <0,01 | 0,010 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| DBO | mg/L | 20 | 16 | 131 | 26 | <2 | |
| DQO | mg/L | 61 | 50 | 245 | 63 | 15 | |

Laboratório: Bioagri (2009).

Para o *Bag* Alternativo só existem resultados do dia 07/01/2009 devido ao seu rompimento.

Verificando os resultados dos 3 *bags* no dia 07/01/2009, percebe-se que, com exceção dos coliformes termotolerantes e totais, os valores dos demais parâmetros são semelhantes, não mostrando diferenças entre os *bags*, principalmente o não acarretamento de metais do *bag* para o líquido percolado.

Verificando os resultados dos *bags* Nacional e Importado no dia 02/02/2009, percebe-se também certa correlação entre os metais, porém os demais valores como sólidos totais, DBO, cor, coliformes termotolerantes e totais, apresentam valores distantes entre eles. O *Bag* Importado apresentou menor quantidade de sólidos do que o *Bag* Nacional e, em contrapartida, maior quantidade de coliformes. A cor e a turbidez também foram maiores, mas a DBO e a DQO apresentam resultados bem menores.

Comparando o comportamento do *Bag* Nacional e do *Bag* Alternativo durante o processo de bombeamento, pode-se verificar que, houve um decréscimo na quantidade de sólidos que saíam dos *bags* entre o dia 07/01/09 e 02/02/09, o que pode ser ocasionado devido ao processo de entupimento dos poros e/ou a formação de *Filter Cake*, que, de acordo com GAFFNEY et al. (1999), é a colmatação física ou biológica do *bag*, dificultando a passagem. No entanto, para ambos os *bags*, a quantidade de coliformes que percolou, aumentou consideravelmente, bem como a cor e a turbidez do líquido percolado. No caso do *Bag* Nacional, houve um aumento da DBO e da DQO do líquido percolado, sendo que, para o *Bag* Importado, houve um decréscimo.

É importante ressaltar que foram apenas duas coletas pontuais, no meio e no final do processo de bombeamento, não interpretando todo o comportamento dos líquidos que saíam dos *bags*.

Como os resultados estavam satisfatórios, foi realizada uma coleta no dia 18/05/2009 visando à avaliação de ovos de helmintos e cistos de protozoários do material que sedimentou no fundo da caixa de percolado, verificando se houve acarretamento dos *bags* para o líquido percolado. Os resultados apresentados pelo Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp apresenta que não foi evidenciada a presença destes agentes patogênicos.

A água que percolou dos *bags*, foi bombeada diretamente para a lagoa facultativa, porém, atendendo todas as exigências ambientais, existe a possibilidade de ser utilizada como água de reúso ou de ser lançada diretamente no corpo receptor. Dos

parâmetros apresentados na Figura 5.39, os resultados não alterariam a classe do corpo receptor, enquadrado como classe 2.

5.10 ACOMPANHAMENTO DOS *BAGS* DURANTE O TEMPO

Após o levantamento da retração volumétrica apresentado no **item 5.8** e de análises do líquido percolado no **item 5.9**, pode-se considerar que as permeabilidades dos *bags* não permaneceram constantes durante o tempo de acondicionamento e desaguamento. Comparando-se com o encontrado na literatura, MUTHUKUMARAN & LLAMPARUTHI (2006) comentam que a permeabilidade não é constante, e vai diminuindo durante o tempo.

O bombeamento para o interior do *bag* aumenta a velocidade de percolação da água livre do lodo. Confirmando com o encontrado por FOWLER *et al.* (2002), na cidade de Vicksburg, que cita que, 90% do adensamento ocorreram em 26 dias, o adensamento do lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho/SP ocorreu com maior velocidade nos primeiros 30 dias após término do bombeamento e, de acordo com o comentado por CORAUCCI FILHO *et al.* (2009) o teor de sólidos de dentro dos *bags* vão diminuindo conforme a profundidade e o perfil do lodo.

Um fato interessante é que, o *Bag* Importado teve um acúmulo de lodo nas bocas de entrada conforme se constata na **Figura 4.39**, e o *Bag* Nacional teve uma distribuição mais homogênea. Pode-se afirmar que o lodo do *Bag* Importado ficou depositado perto da boca de entrada, por estar mais próximo da boca do mangote de bombeamento, devido também à grande dimensão e altura do *bag* e, o líquido, saía pelas laterais.

Com relação à reutilização dos *bags* após quase 4 anos de desaguamento, constata-se que, apenas o *Bag* Importado poderia ter sido reutilizado para um novo bombeamento após o lodo ter sido desaguado mas optou-se por substituí-lo na próxima remoção. No caso do *Bag* Nacional, houve um rompimento nas linhas do tecido,

impedindo a continuidade do bombeamento, conforme se verifica na **Figura 4.38** e, no caso do *Bag Alternativo*, o mesmo se rompeu durante os testes de bombeamento impedindo a reutilização.

É importante apresentar que, para o *Bag Alternativo*, de acordo com seu fornecedor, o mesmo possui a vantagem de colmatação mais tardia e a não eliminação da camada bacteriológica existente na interface lodo/tecido, porém, não foi projetado para receber grandes bombeamentos, sendo necessária baixa pressão e velocidade de internamento do efluente. O motivo de ser mais leve e se desfazer num curto espaço de tempo, é proposital, tendo uma durabilidade aproximada de 1 ano e meio, conforme se observa na Figura 5.17, perdendo parte de suas propriedades físicas e evitando-se o enterramento de plásticos, assunto muito discutido nos últimos anos.

Figura 5.17 – Foto do *Bag Alternativo* – 18/04/2012



Fonte: Autor (2012).

Os *bags* podem ser utilizados com formatos e dimensões diferentes, com mudança de tecido objetivando maior abertura dos poros, devido às diferentes quantidades e dimensões nos sólidos, além das variações entre materiais minerais e

biológicos, imprimindo mais ou menos velocidade no desaguamento ou maior qualidade no percolado.

Com relação às análises realizadas para a caracterização do lodo da ETE Pedregulho, foram realizados acompanhamentos que apresentam as alterações ocorridas durante todo o processo de retirada do lodo da lagoa anaeróbia, acondicionamento nos *bags* e desaguamento, comparando-se com os resultados apresentados, com o encontrado na caracterização pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA, conforme se observa nas Tabelas 5.40 à 5.44.

Tabela 5.40 – Comparativo entre as análises realizadas – Metais e Nutrientes (mg/kg)

| Substâncias | Lagoa Anaeróbia (03/12/08) | CONAMA 344/04 + Potássio (24/11/08) | Res. CONAMA 375/06 (02/05/12) | | |
|-------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| | | | BAG NAC. | BAG IMP. | BAG ALTERN. |
| Arsênio | Não fez | <3,33 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Cádmio | <3 | <0,07 | < 0,1 | < 0,19 | < 0,1 |
| Chumbo | 123,22 | 12 | 68 | 73 | 75 |
| Cobre | 334,33 | 28 | 234 | 261 | 245 |
| Cromo | 64,88 | 25 | 71 | 70 | 66 |
| Mercúrio | Não fez | <0,005 | 3,4 | 3,01 | 3,03 |
| Níquel | 18,34 | 2 | 20 | 17 | 12 |
| Zinco | 1374,44 | 121 | 420 | 570 | 101 |
| Cálcio | 13259 | Não fez | 7419 | 5926 | 2700 |
| Fósforo | 4485 | 706 | 7550 | 7016 | 7066 |
| Magnésio | 2007 | Não fez | 639 | 1244 | 513 |
| Potássio | Não fez | 3,14 | 687 | 759 | 442 |

Laboratório: Bioagri (03/12/08 e 02/05/12) e ASL (24/11/08).

Para as análises de 03/12/08 apresentados na Tabela 5.40, foi realizada coleta no interior da lagoa anaeróbia em apenas 03 pontos e em 03 alturas diferentes, prejudicando uma comparação utilizando essa data pois, não reflete o comportamento

da lagoa anaeróbia. Os resultados apresentados referem-se à média dos 9 pontos para cada substância, executados pelo laboratório Bioagri.

Para as análises para caracterização pela CONAMA 344/04, também foi coletado dentro da lagoa anaeróbia, só que foi uma coleta composta, em 18 pontos a 3 alturas diferentes e, em 2 pontos a 7 alturas diferentes, perfazendo 68 pontos no total. Esta análise composta é a que mais pôde expressar o comportamento do lodo no interior da lagoa anaeróbia. Para as análises de Potássio, foi considerado a média das análises realizadas pela ASL conforme coleta em 10 pontos diferentes no meio da altura do lodo.

Verificando os resultados apresentados no dia 24/11/08 e 02/05/12, percebe-se que, a quantidade de metais e nutrientes aumenta à medida que se concentra a maior quantidade de sólidos no interior dos *bags*, realizada através de bombeamento. A quantidade aumenta à medida que o lodo vai desaguando.

Tabela 5.41 – Comparativo entre as análises realizadas – substâncias orgânicas (Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) em mg/kg

| Substâncias | CONAMA 344/04 (24/11/08) | Res. CONAMA 375/06 (02/05/12) | | |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------|----------------|
| | | BAG NAC. | BAG IMP. | BAG ALTERN. |
| Benzo(a)antraceno | 0,055 | 0,206 | < 0,38 | < 0,18 |
| Benzo(a)pireno | < 0,002 | 0,309 | < 0,38 | 0,183 |
| Naftaleno | 0,386 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Fenantreno | 0,758 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Fluoranteno | 0,290 | 0,287 | < 0,38 | < 0,18 |
| Pireno | 0,157 | 0,274 | < 0,38 | < 0,18 |
| Acenafteno | 0,05 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Acenaftileno | 0,07 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Antraceno | 0,06 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Criseno | 0,06 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Dibenzo(a,h)antraceno | < 0,002 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |
| Fluoreno | 0,153 | < 0,2 | < 0,38 | < 0,18 |

Laboratório: Bioagri (02/05/12) e ASL (24/11/08).

Tabela 5.42 – Comparativo entre as análises realizadas – Poluentes Orgânicos Persistentes (mg/kg)

| Substâncias | CONAMA 344/04 (24/11/08) | Res. CONAMA 375/06 (02/05/12) | | |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| | | BAG NAC. | BAG IMP. | BAG ALTERN. |
| Aldrin + Dieldrin | <0,00013 | < 0,102 | < 0,379 | < 0,181 |
| Endrin | <0,00013 | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| Clordano | <0,00013 | < 0,0204 | < 0,0759 | < 0,0362 |
| Heptacloro | <0,00013 | < 0,051 | < 0,19 | < 0,091 |
| DDT | <0,00013 | < 0,102 | < 0,379 | < 0,181 |

Laboratório: Bioagri (02/05/12) e ASL (24/11/08).

Os resultados da comparação apresentados nas Tabelas 5.41 e 5.42 vem confirmar o apresentado na discussão das Tabelas 5.33 a 5.35 (substâncias orgânicas da Resolução CONAMA 375/06 - MMA) pois apresenta uma pequena quantidade destas substâncias no interior da lagoa anaeróbia (coleta composta de 68 pontos), antes de se iniciar o bombeamento para os *bags*, não interferindo na classificação do resíduo pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA, que apresenta exigências quanto à quantidade mínima no solo, já com o lodo incorporado ao mesmo.

Tabela 5.43 – Comparativo entre as análises realizadas – Carbono, Nitrogênio e umidade (mg/kg)

| Parâmetro | Unidade | Lagoa Anaeróbia (24/11/08) | Nos <i>bags</i> (23/04/12) |
|---------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| Umidade | % | 84,27 | 69,3 |
| Carbono orgânico | g de C/kg | 289,68 | 277 |
| Nitrogênio Kjeldahl | g de N/kg | 28,24 | 29,5 |

Laboratório: IAC.

Na Tabela 5.43 evidenciada-se a queda da umidade durante o processo de desaguamento e as alterações na quantidade de Carbono e Nitrogênio.

Tabela 5.44 – Comparativo entre as análises realizadas – agentes patogênicos

| Substâncias | Unidade | Lagoa Anaeróbia (24/11/08) | Res. CONAMA 375/06 (02/05/12) | | |
|---|-------------|----------------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| | | | BAG NAC. | BAG IMP. | BAG ALTERN. |
| Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>) | NMP/g de ST | 23.300 | < 0,8 | 2563 | < 0,6 |

Laboratório: Bioagri (02/05/12) e ETE Franca (24/11/08).

Para as análises de *E. coli* realizadas no interior da lagoa anaeróbia, foram realizadas coletas em 10 pontos diferentes e apresentado apenas o valor médio dos resultados.

Evidencia-se que, houve um decaimento na quantidade de coliformes termotolerantes no lodo do interior do *bag*, durante a fase de acondicionamento e desaguamento, podendo ser indicativo de melhora nas características do lodo.

5.11 DECAIMENTO BACTERIANO

Além do decaimento bacteriano apresentado no **item 5.10**, foram realizadas outras análises referente a ovos de helmintos, cistos e oocistos de protozoários, buscando defender a hipótese de que o lodo desaguado em *bags* provenientes de uma estação de tratamento com fase de anaerobiose, durante o período de secagem, é capaz de reduzir a infectividade, tornando-o apto a ser utilizado na agricultura, pelo menos para estes parâmetros.

Os resultados das análises efetuadas pelo Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp conforme coleta realizada dia 24/11/2008 dentro da lagoa anaeróbia, referente a helmintos e protozoários, estão apresentados na Tabela 5.45.

Tabela 5.45 – Análises de Helmintos e protozoários – lodo da lagoa anaeróbia

(Continua)

| Amostra | Helmintos | | | | | | Protozoários | | |
|-----------|-----------|-----|-------|---------------|----|----|--------------|---------|---------|
| | AI | All | Toxo. | Tt | Hd | Hn | Gia | E. nana | E. coli |
| A2 0,2 m | 22 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 fundo | 51 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 meio | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B4 0,2 m | 3 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B4 fundos | 98 | 0 | 3 | 9 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| B4 meio | 21 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B5 0,2 m | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B5 fundos | 37 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B5 meio | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B6 0,2 m | 40 | 0 | 2 | 7 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| B6 fundo | 18 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B6 meio | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. |
| B9 0,2 m | 3 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B9 fundo | 25 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B9 meio | 20 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 0,4 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 0,8 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. | Posit. | 0 |
| C3 1,2 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. | Posit. | Posit. |
| C3 1,6 m | 8 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 2,0 m | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | Posit. |
| C3 2,4 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 2,8 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 fundos | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 meio | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| C7 0,2 m | 142 | 0 | 8 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C7 fundos | 36 | 0 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C7 meio | 22 | 0 | 3 | 5 (T. vulpis) | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| C8 0,2 m | 57 | 0 | 6 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C8 fundos | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C8 meio | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D1 0,2 m | 10 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D1 fundos | 143 | 0 | 4 | 6 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| D1 meio | 62 | 0 | 0 | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| D6 0,2 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D6 fundos | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D6 meio | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D9 0,2 m | 26 | 0 | 7 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. |

(Continuação)

| Amostra | Helmintos | | | | | | Protozoários | | |
|-----------|-----------|-----|-------|----|----|----|--------------|---------|---------|
| | Al | All | Toxo. | Tt | Hd | Hn | Gia | E. nana | E. coli |
| D9 fundo | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D9 meio | 12 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E5 0,2 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E5 fundo | 15 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E5 meio | 28 | 0 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| F1 0,2 m | 34 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F1 fundo | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F1 meio | 134 | 0 | 11 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F2 0,2 m | 10 | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | Posit. |
| F2 fundos | 9 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. |
| F2 meio | 21 | 0 | 4 | 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F6 0,2 m | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F6 fundos | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F6 meio | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 0,4 m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 0,8 m | 16 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 1,2 m | 165 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 1,6 m | 14 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 2,0 m | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 2,4 m | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 2,8 m | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F7 Fundos | 16 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | Posit. |
| G9 0,2 m | 23 | 0 | 1 | 7 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| G9 Fundo | 106 | 0 | 4 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| G9 meio | 69 | 0 | 4 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| H4 0,2 m | 8 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | Posit. | 0 | Posit. |
| H4 fundos | 70 | 0 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H4 meio | 9 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | Posit. | Posit. |
| I3 0,2 m | 44 | 0 | 9 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I3 fundo | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I3 meio | 8 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I8 0,2 m | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I8 fundo | 15 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I8 meio | 17 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Legenda: Posi. - Positivo para o parasito; n - Negativo para o parasito; Al – *Ascaris* sp, All – *Ascaris* sp larvado; Toxo. – *Toxocara* sp (*T. cati* ou *T. leoni*); Tt – *Trichuris* sp (*T. muris*, *T. vulpis*); HD – *Hymenolepis diminuta*; Hn – *Hymenolepis nana*; E. coli. – *Entamoeba coli*; Gia – *Giardia* sp (sinonímia *G. intestinalis* e *G. duodenalis*); E. nana – *Endolimax nana*; Nemato VL - nematoide vida livre.

Laboratório: LABREUSO – FEC/UNICAMP (2010).

Visando uma comparação do lodo quando do interior da lagoa anaeróbia, foram realizadas coletas para análises de helmintos e protozoários dentro do *Bag* Nacional e do *Bag* Importado, no dia 18/05/2010, conforme resultados apresentados na tabela 5.46 realizados pelo Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp.

Tabela 5.46 – Análises de Helmintos e protozoários – 18/05/2010

| Amostra | Helmintos | | | | | | Protozoários | | |
|----------------------|-----------|-----|-------|----|----|----|--------------|---------|---------|
| | Al | All | Toxo. | Tt | Hd | Hn | Gia | E. nana | E. coli |
| <i>Bag</i> Nacional | 13 | 0 | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Bag</i> Importado | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Legenda: Posi. - Positivo para o parasito; n - Negativo para o parasito; Al – *Ascaris* sp, All – *Ascaris* sp larvado; Toxo. – *Toxocara* sp (*T. cati* ou *T. leoni*); Tt – *Trichuris* sp (*T. muris*, *T. vulpis*); Hd – *Hymenolepis diminuta*; Hn – *Hymenolepis nana*; E. coli. – *Entamoeba coli*; Gia – *Giardia* sp (sinonímia *G. intestinalis* e *G. duodenalis*); E. nana – *Endolimax nana*; Nemato VL - nematoide vida livre.

Laboratório: LABREUSO – FEC/UNICAMP (2010).

Conforme apresentado nos resultados pelo Laboratório de Reúso da FEC/Unicamp, cistos e oocistos de protozoários não foram quantificados devido a baixa sensibilidade e especificidade do método empregado, que é específico para helmintos.

A técnica de Yanko (1987) modificada, utilizada na caracterização do lodo quanto à presença de helmintos, se mostrou adequada, evidenciando 4 gêneros de helmintos intestinais. Também foi utilizada a técnica de Ritchie (1948), na tentativa de se evidenciar os protozoários intestinas.

Constata-se que o número de ovos de helmintos em relação ao peso seco do lodo se mostrou bastante abaixo ao recomendado pela Resolução CONAMA 375/06.

Analisando o lodo da ETE pode-se observar que a maioria dos ovos encontrados foram de *Ascaris* sp, o que reflete a maior prevalência destes organismos entre a população brasileira e da cidade de Pedregulho.

Com relação à profundidade onde foram encontrados os ovos deste organismo, pode-se observar que há uma tendência das camadas intermediárias e mais profundas concentrarem maior número de ovos. Foram encontrados apenas em dois pontos, ovos larvados de *Ascaris sp*, apenas no fundo da lagoa e, em pequena quantidade, refletindo o esperado para ovos de helmintos em ambientes anaeróbios.

Não se pode afirmar, aparentemente, que em uma região da lagoa se concentraram uma maior quantidade de ovos em relação à entrada e saída do efluente, apresentando uma distribuição normal.

Já com relação à presença de protozoários, foram verificados em todos os pontos da lagoa, porém não se conhece uma técnica confiável para a verificação de sua viabilidade.

A presença de *E. coli* apresentado nos resultados do interior da lagoa anaeróbia antes de se iniciar o bombeamento para os *bags*, são corroborados pelos resultados realizados na caracterização do lodo pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA, 3 anos e 5 meses após, em particular o *Bag* Importado (**Tabela 5.32**). Esta mesma confirmação acontece para a baixa quantidade de ovos viáveis de helmintos encontrados na época, nos quais, os resultados para os 03 *bags*, são menores que 0,1 ovo/gST.

Comparando-se também os resultados do interior da lagoa anaeróbia (coletado em 24/11/2008) com os resultados encontrados no interior do *Bag* Nacional e do *Bag* Importado (coletados dia 18/05/2009), percebeu-se que, no interior dos *bags*, mesmo tendo uma maior quantidade de sólidos por volume de lodo, não foram encontrados cistos e oocistos de protozoários, nem uma grande presença de ovos de helmintos, em especial à ausência de ovos larvados de *Ascaris sp*.

Uma característica que pode ser observada na ETE Pedregulho é que, mesmo estando no limite de sua capacidade, na época da coleta, a ETE apresentava boa eficiência de remoção de ovos de helmintos e, todo o processo de tratamento pode estar influenciando na viabilidade destas formas infectantes.

Outra característica importante é que no lodo existe a presença de ovos do gênero *Toxocara*, parasitos com potencial zoonótico, específico de cão ou gato. O ser humano não elimina ovos deste parasito em suas fezes. A ausência de ovos de parasitos (*Taenia solium* e *Taenia saginata*) que tem como hospedeiros definitivos ou intermediários animais utilizados na alimentação humana também é uma importante constatação, pois sua presença pode inviabilizar uma futura utilização do lodo da ETE na agricultura de forragens ou pastagens.

5.11.1 Análise da população local

Em virtude das características microbiológicas e parasitológicas encontradas no lodo da lagoa anaeróbia, se fez necessário realizar uma verificação junto à Secretaria da Saúde sobre o comportamento da população local, bem como dos animais de estimação como, por exemplo, existência de larvas do ancilóstomo do cachorro.

De acordo com o observado e, mesmo com os resultados satisfatórios de ovos de helmintos e cistos de protozoários, encontrados em pequena quantidade no lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho, percebeu-se a necessidade de fazer esta verificação do comportamento da população, na busca de estudos epidemiológicos relativos às parasitoses intestinais humanas, PSF (Perfil de Saúde Familiar), exames coproparasitológicos, etc.

No entanto, em consulta ao órgão municipal competente, percebeu-se que não existem arquivos que apresentem tais informações, sendo que, até os exames parasitológicos de fezes não são mantidos em arquivo, pois, no município, estes serviços são realizados por profissionais particulares. A resposta está muito mais embasada no sentimento dos profissionais locais que acreditam que, de longa data, existem uma conduta clínica adequada para o controle de parasitoses intestinais sendo que, o grande marco, foi o início do tratamento da água, coleta, afastamento e tratamento dos esgotos, quando da chegada da Sabesp no município.

Com relação à presença de ovos do gênero *Toxocara*, específico de cão ou gato, foi realizada uma consulta junto à Vigilância Epidemiológica Municipal que, de acordo com informações colhidas, não existe um acompanhamento histórico da população de cães e gatos na cidade. O único dado disponibilizado foi a quantidade de cachorros vacinados, cujo total no ano de 2011 foi de 4.500 cachorros. Estes dados são apenas indicadores de superpopulação canina, onde é vacinado apenas os cachorros que possuem donos, ou seja, 1/3 da população possuem cachorros vacinados, sem considerar os cachorros de rua que não foram vacinados e os cachorros cujos donos não efetivaram a vacinação. No ano e 2010 este número foi de 3.300 cachorros. A Vigilância Epidemiológica de Pedregulho, historicamente, vem realizando campanhas para conter a grande quantidade de cachorros que são deixados nas ruas da cidade.

O fato da presença de ovos do gênero *Toxocara*, pode ser explicado pelo grande acarretamento de água de chuva na rede de esgotos, cuja quantidade de imóveis que lançam clandestinamente, conforme levantamento realizado pela Sabesp em 2009, esta em torno de 15% dos imóveis totais do município. Estas águas provenientes das vias públicas e dos quintais pode explicar a ocorrência destes parasitos.

5.12 APURAÇÃO DE CUSTOS

Foram realizados levantamentos e estimativas dos custos referentes ao que se foi efetivamente gasto durante o experimento e referente à destinação adequada do lodo, contendo a disposição em aterro sanitário, encaminhamento para a utilização agrícola, indústria cimenteira e incineração, fazendo uma análise comparativa com os valores encontrados.

Para a apuração dos custos envolvendo mão de obra, foi utilizado um salário médio dos agentes de saneamento ambiental locais no valor de R\$1.700,00 e a

despesa com encargos sociais sobre o empregado de 144% sobre o salário base. Com isto, a hora homem calculada foi de R\$23,57 (R\$0,39 por minuto trabalhado).

Para as despesas com transporte foram utilizados o consumo por km praticados pelos veículos da Sabesp de Pedregulho e de Igarapava sendo:

Veículo leve: R\$0,12 por km

Veículo leve com reboque (barco): R\$0,15 por km

Veículo pesado (caminhão 3/4): R\$0,35 por km

Veículo pesado (caminhão basculante de 6 m³): R\$0,47 por km

Para o valor da hora de pá carregadeira foi utilizado o valor praticado no mercado regional que é de R\$110,00/hora.

No caso de transporte com caminhão basculante, foi feita uma comparação entre o custo encontrado com os preços praticados por empresas particulares de serviços de transporte que é R\$3,50 por km (caminhão de 12 m³).

5.12.1 Custos durante o experimento

Os custos realizados para a dragagem em *bag* na ETE Pedregulho, conforme contratação realizada pela Sabesp contendo, preparação da área, montagem dos equipamentos e desaguamento, foi de **R\$65.190,00** em fevereiro/2009.

Com relação aos *bags*, o *Bag* Importado gerou um custo para a Sabesp de aproximadamente **R\$33.000,00** e, tanto o *Bag* Nacional como o Alternativo, foram disponibilizados sem custo para a Sabesp, para realização de testes.

Os custos totais calculados referente às análises realizadas durante o experimento estão apresentados na Tabela 5.47.

Tabela 5.47 – Custo estimado total das análises realizadas

| Análise | Executante | Qtde. | Valor unitário | Valor total |
|--|-------------------|--------------|-----------------------|--------------------|
| Resolução CONAMA 344/04 - MMA | ASL | 1 | 1.140,00 | 1.140,00 |
| ABNT NBR 10.004 | ASL | 1 | 1.266,35 | 1.266,35 |
| Potássio | ASL | 10 | 17,48 | 174,80 |
| Metais | Bioagri | 11 | 79,80 | 877,80 |
| Helmintos, protozoários e % sólidos | Unicamp | 81 | 150,00 | 12.150,00 |
| Respirometrias | Unicamp | 2 | 1.800,00 | 3.600,00 |
| Nitrogênio, Carbono orgânico e umidade | IAC | 70 | 40,00 | 2.800,00 |
| Nitrogênio, Carbono orgânico e umidade do solo e do lodo) | IAC | 2 | 100,00 | 200,00 |
| Cálcio e Magnésio | Bioagri | 10 | 162,6 | 1.626,00 |
| Fósforo | Bioagri | 10 | 35,87 | 358,70 |
| Entrada e saída da lagoa - % de sólidos, fósforo total, prata, cobre, níquel, zinco, chumbo, cádmio, cromo, potássio, cálcio, magnésio, coliformes termotolerantes e coliformes totais | Bioagri | 2 | 256,87 | 513,74 |
| Percolado - Coliformes termotolerantes, coliformes totais, cor, pH, sólidos totais, turbidez, metais (cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, prata, zinco), DBO e DQO | Bioagri | 5 | 259,04 | 1.295,2 |
| Entrada e saída da lagoa - Coliformes termotolerantes, coliformes, totais, fósforo total e metais (cádmio, cálcio, chumbo, cromo, magnésio, níquel, potássio, prata e zinco) | Bioagri | 2 | 245,8 | 491,60 |
| Entrada e saída da lagoa - Coliformes termotolerantes, coliformes, totais, fósforo total, metais (cádmio, cálcio, chumbo, cromo, magnésio, níquel, potássio, prata e zinco), DBO e DQO | Bioagri | 4 | 274,60 | 1.098,40 |
| <i>E. coli</i> | ETE Franca | 12 | 17,50 | 210,00 |
| Coliformes termotolerantes | ETE Franca | 12 | 17,50 | 210,00 |
| DBO e DQO | ETE Franca | 2 | 57,61 | 115,22 |
| <i>E. coli</i> e umidade (<i>Bag</i> Importado) | ETE Franca | 1 | 17,50 | 17,50 |
| Resolução CONAMA 375/06 - MMA | Bioagri | 3 | 5064,02 | 15.192,06 |
| TOTAL GERAL | - | - | - | 43.337,37 |

Fonte: AUTOR (2012).

Conforme se observa, o custo total encontrado das análises foi de R\$43.337,37, sendo que, dentre os diversos valores apresentados, podem-se destacar o serviço de dragagem contendo a preparação da área, montagem dos equipamentos e desaguamento com fornecimento de equipamentos que ficou em R\$65.190,00, pago em fevereiro de 2009; o custo da caracterização pela ABNT NBR 10.004 que foi de R\$1.266,35 e pela Resolução CONAMA 344/04 - MMA que foi de R\$1.140,00, pagos em dezembro de 2008; o custo de cada respirometria que ficou em R\$1.800,00 (lodo dos 03 *bags*); e o custo das análises de caracterização dos 3 *bags* pela Resolução CONAMA 375/06 - MMA ocorrida em abril/2012 que foi de R\$15.192,06.

As despesas para a realização das medições das alturas dos *bags* foram calculadas utilizando-se 2 funcionários durante 20 minutos (incluindo deslocamento), com deslocamento de 4 km (ida e volta) e foram realizadas 136 medições.

Mão de obra para as 136 medições: R\$2.136,85.

Transporte para as 136 medições: R\$190,40.

Custo total das 136 medições das alturas dos *bags*: **R\$2.327,25.**

Para o custo com transporte de amostras enviadas aos laboratórios, foi considerado 6 viagens para Campinas, 4 viagens para Piracicaba e 1 viagem para São Carlos sendo considerado pedágios, refeições e hora/homem trabalhada.

6 viagens à Campinas: R\$2.658,25.

4 viagens à Piracicaba: R\$1.642,37.

1 viagem à São Carlos: R\$409,92.

Custo total de envio de análises: **R\$4.710,55.**

Não foi considerado o envio de amostras para Franca devido ser caminho para estas localidades.

Para o cálculo do gasto na realização das 2 batimetrias, foi considerado o transporte de barco por 100 km (ida e volta) e a utilização de 5 funcionários por 5 horas.

Total das 2 batimetrias: **R\$1.208,41**.

Para o cálculo do gasto na realização das 2 coletas para a respirometria, foi considerado o transporte de veículo leve por 100 km (ida e volta) e a utilização de 1 funcionário por 1 hora e 3 funcionários por 5 horas.

Total das 2 coletas para respirometria: **R\$778,18**.

Não foram realizados cálculos de custo com frascaria, embalagens, isopor, gelo, e outros materiais para coleta. Estes materiais foram fornecidos pela Sabesp.

O valor total dos custos envolvidos durante o experimento estão apresentados na Tabela 5.48.

Tabela 5.48 – Custo total durante o experimento

| Tipo de custo | Valor |
|--|-------------------|
| Custo de dragagem em <i>bags</i> | 65.190,00 |
| Custo do <i>Bag</i> Importado | 33.000,00 |
| Análises realizadas | 43.337,37 |
| Coleta de leituras (medições dos <i>bags</i>) | 2.327,25 |
| Envio de coletas para o laboratório | 4.710,55 |
| 2 batimetrias | 1.208,41 |
| 2 respirometrias | 778,18 |
| Total Geral | 150.551,76 |

Fonte: AUTOR (2012).

Conforme se observa na Tabela 5.48, o custo apurado total para a realização do experimento, sem considerar a remoção e destinação final, foi de R\$150.551,76.

5.12.2 Custos da destinação

Para efeito comparativo dos custos de destinação, adotou-se a distância até o aterro sanitário habilitado de Guará (Grupo Ambitec) de 75 km, tanto para disposição como para incineração em autoclave, distância para utilização em área agrícola 50 km, bem como utilização na indústria cimenteira nas cidades vizinhas (Franca e Igarapava) ser também de 50 km.

Os custos totais foram calculados considerando o bombeamento em torno de 614 m³ de lodo a uma porcentagem de sólidos de 15,73% (média de 62 pontos do interior da lagoa anaeróbia) e, depois de desaguado em *bags*, com uma porcentagem de sólidos de 30,70 (conforme resultados médios dos *bags*, caracterizados pelo IAC em 23/04/2012), resultando numa quantidade de lodo em torno de 315 m³. Considerando-se densidade de 1,05 t/m³ (FRANÇA, 2010), obtém-se 330 toneladas de lodo.

ATERRO SANITÁRIO (75 km):

Custo da dragagem (2.300 m³ bombeados, perfazendo 614 m³ de lodo nos *bags* após término do bombeamento e 330 toneladas de lodo após fase de desaguamento): R\$65.190,00.

Custo do *Bag* Importado: R\$33.000,00.

Custo do transporte: R\$11.370,83 (R\$0,23 t/km).

Custo da disposição no aterro: R\$39.600,00 (R\$120,00 por tonelada).

Custo total: **R\$149.160,83** (R\$452,00 por tonelada, base seca).

Comparando-se o custo de transporte praticado por empresa particular de R\$0,29 t/km (R\$14.438,00), percebe-se que os valores praticados estão próximos. O custo de disposição em aterro apurado por FRANÇA (2010), foi de R\$54,00 e o custo

da dragagem foi de R\$124,75/m³ enquanto que o custo de dragagem encontrado neste estudo (com fornecimento de *bag*) ficou em R\$159,92/m³.

Com estes resultados apura-se que o custo total de remoção de 614 m³ de lodo com teor médio de sólidos totais de 10,6% no interior da lagoa anaeróbia, após acondicionamento e desaguamento em *bags* por mais de 3 anos, e disposição em aterro sanitário com teor de sólidos totais acima de 30%, a uma distância de 75 km, é de R\$242,93 por m³, para o lodo da ETE Pedregulho.

APLICAÇÃO AGRÍCOLA (50 km):

Custo da dragagem (2.300 m³ bombeados ou 330 toneladas de lodo após desaguamento): R\$65.190,00.

Custo do *Bag* Importado: R\$33.000,00.

Custo do transporte (100 km rodados): R\$7.712,58 (R\$0,23 t/km).

Custo do plantio: Por conta do agricultor.

Custo total: **R\$105.902,58** (R\$320,92 por tonelada, base seca).

Considerando o transporte por conta da Sabesp, apura-se que o custo total da aplicação em solo agrícola de 614 m³ de lodo removidos do interior da lagoa anaeróbia (teor de sólidos totais de 10,6%), após acondicionamento e desaguamento em *bags* (teor de sólidos totais acima de 30%), a uma distância de 50 km, é de R\$172,48 por m³, para o lodo da ETE Pedregulho.

COPROCESSAMENTO EM INDÚSTRIA CIMENTEIRA:

O coprocessamento do lodo pela indústria pela cimenteira é uma opção que, além de não ser muito utilizado no Brasil, possui um alto custo e não atrai investimentos do setor, pois altera a qualidade do produto já inserido no mercado.

Como ainda não existiram propostas por parte das cimenteiras da região de Pedregulho e, apenas para cálculo de disposição, optou-se por utilizar o valor encontrado por FRANÇA (2010) de R\$280,00 por tonelada de lodo, além de se levar em consideração uma distância para transporte de 50 km visando encaminhamento para as cidades de Franca ou Igarapava.

Dragagem, aquisição de *bag* e transporte: R\$105.902,58.

Processamento: R\$92.400,00 (280,00 por tonelada).

Custo Total: **R\$198.302,58.**

Estima-se que o custo total do coprocessamento em indústria cimenteira de 614 m³ de lodo removidos do interior da lagoa anaeróbia (teor de sólidos totais de 10,6%), após acondicionamento e desaguamento em *bags* (teor de sólidos totais acima de 30%), a uma distância de 50 km, seja de R\$322,97 por m³, para o lodo da ETE Pedregulho.

INCINERAÇÃO:

Outro tipo de disposição, a incineração, foi analisada como economicamente inviável, principalmente devido a elevada quantidade de água do resíduo.

A empresa mais próxima ao experimento (distante 75 km), utiliza de autoclave para esterilizar resíduos hospitalares e destina o lodo de esgotos diretamente em seu aterro sanitário, com um custo mais inferior. O preço informado de esterilização, utilizando autoclave, é de aproximadamente R\$5.000,00 por tonelada.

Dos resultados encontrados, verifica-se que a utilização em solo agrícola é a maneira mais viável de disposição final de lodo de esgotos, desde que atenda todos os requisitos exigidos pela legislação em vigor.

6 CONCLUSÕES

Foram removidos 614 m³ de lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho e a altura do lodo baixou em média 30 cm. Ao final do bombeamento para os *bags*, houve uma movimentação do lodo remanescente do interior da lagoa anaeróbia e, houve uma melhora no desempenho da ETE (remoção de DBO e DQO).

Mesmo estando no limite de sua capacidade, a ETE Pedregulho apresentou boa eficiência de remoção de ovos de helmintos. Foram encontrados ovos de helmintos do tipo *Ascaris sp* (inférteis) no efluente da lagoa anaeróbia e, com relação aos cistos de protozoários, foram vistos tanto no afluente como no efluente.

Há uma grande quantidade de lodo remanescente, tanto na lagoa anaeróbia quanto na lagoa facultativa. Verifica-se também que, após a remoção, houve uma melhora inicial mas, houve um decaimento na eficiência da ETE durante os anos em operação.

Interpretando os resultados das análises que atendem a norma ABNT NBR 10.004:2004 (completa) o lodo da ETE Pedregulho possui classificação como Resíduo Classe II A – não perigoso – não inerte, passível de ser depositado em aterro sanitário.

Os procedimentos respirométricos serviram como suporte para apontar que o lodo estabilizado da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho pode de ser aplicado no solo agrícola do estudo de caso realizado, como forma de tratamento ou de fertilização das culturas, sem riscos de contaminação. Permitiu-se concluir que houve um consumo de

matéria orgânica dentro dos *bags*, diminuindo a quantidade de carbono presente no lodo.

O lodo retirado da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho, bioestabilizado e desaguado em *bags*, atende os parâmetros para ser aplicado em solo agrícola, obedecendo ao determinado pela Resolução CONAMA 375/06 – MMA. Com exceção dos resultados para o *Bag* Importado de *E. coli*, todos os demais parâmetros e, para os três *bags*, os resultados atendem ao exigido. Neste caso em questão, para aplicação agrícola, o lodo do *Bag* Importado deve sofrer um processo de redução de coliformes (desinfecção) antes da sua aplicação.

Apesar dos resultados atenderem à Resolução CONAMA 375/06, eles devem ser tratados com cautela pois, para a aplicação na agricultura, deve-se ainda atender a todos os requisitos legais citados pela norma como, a criação de Unidade Gerenciadora de Lodo – UGL e que haja uma frequência m de monitoramento das características do lodo a ser aplicado.

Pode-se concluir também que, de acordo com as legislações do MAPA, o lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho são passíveis de serem aplicados no solo, podendo ser iniciados os procedimentos para a busca do registro, especificação e classificação junto ao MAPA, bem como as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda, produção e comércio, destinados à agricultura.

Com relação ao comportamento dos *bags* durante o processo de bombeamento e desidratação, quanto à qualidade dos *bags* e às características do lodo, conclui-se:

✓ A tecnologia utilizada (*bag*) possivelmente permite a entrada de água de chuva em seu interior, aumentando a umidade e, conseqüentemente, o volume do lodo. O *bag* com maior umidade ainda permite uma maior concentração de coliformes termotolerantes;

✓ A permeabilidade dos *bags* não permaneceu constante durante todo o processo de desaguamento, havendo um aumento da velocidade de percolação durante o bombeamento. Houve um decréscimo na quantidade de sólidos que percolavam dos *bags* e, um aumento na quantidade de coliformes, cor e turbidez;

✓ Não houve acarretamento de metais, helmintos e protozoários dos *bags* para o líquido percolado. Dadas suas características, o percolado pode ser utilizado como água de reúso ou ser lançado diretamente no corpo receptor;

✓ O *Bag* Importado tem dimensões maiores, mais espaços vazios, além de ter maior resistência física ao bombeamento e, na contramão, o *Bag* Alternativo tem pouca resistência e durabilidade, se desfazendo em curto espaço de tempo;

✓ Houve decaimento na quantidade de coliformes termotolerantes no lodo do interior dos *bags* durante o tempo, indicativo de melhora de suas características e, houve um aumento na concentração de metais e nutrientes no lodo;

✓ Mesmo tendo uma maior quantidade de sólidos por volume de lodo no interior dos *bags*, não foram encontrados cistos e oocistos de protozoários, nem presença de ovos de helmintos, predominante em humanos. Percebeu-se a presença de ovos do gênero *Toxocara*, específico de cão ou do gato, possivelmente proveniente da água de chuva lançada na rede de esgotos.

A tecnologia utilizada (*bag*) na remoção, acondicionamento e desaguamento de lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho, mostrou-se como opção viável tecnicamente, economicamente e ambientalmente correta.

O custo da remoção e acondicionamento em *bags* do lodo da lagoa anaeróbia da ETE Pedregulho, foi de R\$159,92/m³, o custo total visando a disposição em aterro sanitário é de R\$452,00 por tonelada (base seca) e, o custo total visando aplicação em solo agrícola é de R\$320,92 por tonelada (base seca). Os resultados apontam que, no caso do lodo da ETE Pedregulho, considerando as condições avaliadas nesta pesquisa, a utilização em solo agrícola, é a maneira mais econômica de disposição final de lodo de esgotos, principalmente se o agricultor arcar com as despesas de transporte.

7 RECOMENDAÇÕES

Devido à grande quantidade de lodo remanescente, recomenda-se à operadora do processo de tratamento de esgotos que realize nova remoção de lodo do interior da ETE Pedregulho, visando melhoria na sua eficiência.

Verifica-se a necessidade de realização de estudos que considerem a utilização de lodos de esgotos no coprocessamento pela indústria cimenteira, bem como no encaminhamento para a incineração.

A utilização de *bags* na remoção de lodo de ETE's está numa crescente sendo necessários avaliar o comportamento destes *bags* e destinar adequadamente os lodos de esgotos sem gerar altos custos. Estudos precisam ser realizados com o intuito de se investigar melhor o comportamento dos líquidos percolados dos *bags*, visando seu adequado destino ou reúso desta água.

É necessário que seja avaliado de uma forma mais consistente o desempenho da ETE durante todo o processo de dragagem, verificando possíveis interferências.

Necessita-se também que sejam realizados estudos sobre o comportamento da população local e demais localidades, com relação a uma conduta clínica adequada para o controle de parasitoses intestinais, bem como, sejam realizados estudos que contemplem a presença de ovos do gênero *Toxocara* nestas comunidades e do comportamento das águas provenientes das vias públicas e quintais, que podem explicar a ocorrência destes parasitos.

8 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14283. **Resíduos em solos - Determinação da biodegradação pelo método respirométrico**. Rio de Janeiro, 1999.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12553. **Geossintético - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ALÉM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na Agricultura** – 1. ed. São Paulo: SABESP, 2001.

ALVES, Kleber Gonçalves Bezerra. **Estudo da evolução da camada de lodo da lagoa anaeróbia profunda da pedra n.º 7 do sistema de tratamento de esgotos do Roger na Grande João Pessoa – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2006.

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**. Curitiba: Engenharia e Construção, n. 24, setembro/98.

ANDREOLI, C.V. (coordenador). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. ABES. Rio de Janeiro, 2009. 388p.: il. Projeto PROSAB. ISBN: 978-85-7022-166-7.

ARAÚJO, L.F.P. **Reuso com lagoas de estabilização: potencialidade no Ceará.** Fortaleza: SEMACE, 2000. 132p.

ASHWORTH, Brian. **GEOBAGS - THE SOUTH GIPPSLAND WATER EXPERIENCE.** WIOA - Water Industry Operators Association of Australia. 66.^o Annual Victorian Water Industry Engineers and Operators Conference. Shepparton, Australia. 3 e 4 set. 2003. Disponível em: <http://www.wioa.org.au/conference_papers/03/paper11.htm>. Acesso em: 16 jan. 2012.

AYDILEK, A.H.; EDIL, T.B. **Filtration performance of woven geotextiles with wastewater treatment sludge.** University of Maryland. USA. 2002. **Geosynthetics International.** ISSN: 1072-6349 – **Qualis B1.** Disponível em: <<http://www.aydilek.umd.edu/publications/documents/FilterWoven.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012, 23:00.

BARROS, R.T.V. *et al.* **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios.** Vol. 2. Saneamento, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1995. 221p.

BARTHA, R.; PRAMER, D. **Features of flask and method for measurement of the persistence and biological effects of pesticides in soil.** Soil Sci. Baltimore, v.100, n.1. 1965. p.68-70.

BOINA, W.L.O. **Análise da eficiência de desaguamento de lodos de estação de tratamento de esgotos desaguados em “bag’s” de manta geotêxtil.** IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Londrina. 06 a 09 nov. 2011. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/III-011.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

BORRELY, S. I. **Tratamento de esgoto sanitário com o uso de acelerador de elétrons.** Dissertação (Mestre em Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. USP. São Paulo, 1995.

BRANCO, Samuel Murgel. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária.** 2. Ed. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil (1988)**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 out. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 10 mar. 2012.

BRASIL. **DNER-PRO 380/98 - Utilização de geossintéticos em obras rodoviárias**. DNER/DrDTc (IPR). Resolução 39/98. Rio de Janeiro, RJ, 1998.

BRASIL. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. 3.^a ed. Brasília, DF, 1999. 374p.

BRASIL. **CONAMA Resolução n.º 344. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mar. 2004. Ministério do Meio Ambiente.

BRASIL. **CONAMA Resolução n.º 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, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 ago. 2006. Ministério do Meio Ambiente.

BRASIL. **MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 27**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jun. 2006.

BRASIL. **MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Sítio eletrônico. [2009?]. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2009.

BURBARELLI, Rodrigo Carminatti. **Avaliação da qualidade da água subterrânea e microbiologia do solo em área irrigada com efluente de lagoa anaeróbia**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP. Campinas, 2004.

CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. ABES. Rio de Janeiro, 1999. Projeto PROSAB.

CANEVAROLO JÚNIOR, S.V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 1. ed. São Paulo. ArtLiber Editora, 2002.

CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M.; PEGORINI, E.S. **Análise Econômica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém**. SANARE, Curitiba, janeiro a junho de 1999, v. 11, p. 51-58.

CARMO JUNIOR, G.N.R. **Trata Aula 10. Lagoa de estabilização**. [2010?]. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/Trata_aula%2010.ppt>. Acesso em: 27 jan. 2012.

CASTRO, N.P.B. **Sistemas tubulares para contenção de lodo e sedimentos contaminados**. Dissertação (Mestrado). Divisão de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2005. 103 p.

CASTRO, N.P.B.; MARTINS, P.M.; STEPHENS, T.; MELO, L.C.Q.C. **Tests to evaluate dewatering and filtration efficiency for geotextile tubes design**. Geosynthetics 2009 & GRI Conference. Salt lake City, Utah, USA. 25 a 27 fev. 2009. IFAI Geosynthetics Papers.

CERQUEIRA, Raul Sandoval. **Pós-tratamento de efluente de lagoa anaeróbia por escoamento superficial no solo**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP. Campinas, 2004. 107 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico**. São Paulo, 1999. (Norma P4230).

CINTRA FILHO, Orlando A. **Influência na Qualidade da Água Subterrânea pela Irrigação com Efluente de Lagoa Anaeróbia em Cultura de Milho**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP. Campinas, 2008. 118 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. SEGRAC. Belo Horizonte, 1997. 246 p.

CHERNICHARO, C.A. (Coord.). **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. FINEP/CNPq/Caixa Econômica Federal. Rio de Janeiro, 2.001.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Politécnic. Belo Horizonte, 2007. 379 p.

COMPARINI, J.B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa agrícola**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenharia Hidráulica. USP. São Paulo. 2001.

CORAUCCI FILHO, B.; SIVIERO, A.R.; SOUZA, L.C.F.; ALBUQUERQUE, A.F. **Avaliação da biodegradação de lodo de indústria cítrica no solo através do ensaio de respirometria**. Trabalhos técnicos. Rio de Janeiro. ABES, 1997, p.7 Ilus. 19 Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 2 - FITABES'97. Foz do Iguaçu, 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/lodo.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2012.

CORAUCCI FILHO, B.; MAKYAMA, C. V.; FRANÇA, J. T. L.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R. **Remoção e disposição de areia e lodo de lagoa de estabilização. Estudo de Caso ETE Gália**. 2009. 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds. 26-30 abr. 2009. Belo Horizonte/MG. Disponível em: <<http://www.acquacon.com.br/ponds2009/palestras/29-04/tarde/room3/03pap241limpezaetegalaiwabhversao27.04.09-apresen.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2012.

DACACH, Nelson Gandur. **Saneamento Básico**. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 1981.

DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica. **Dados diários de precipitação do posto de Pedregulho - B4-063 – Faz. Cafelândia** [mensagem pessoal]. Mensagem enviada por <nelson.magni@daee.sp.gov.br> em 17 jul. 2012. Recebido por: <vpim@sabesp.com.br>.

FJÄLLBORG, B.; AHLBERG, G.; NILSSON, E.; DAVE, G. **Identification of metal toxicity in sewage sludge leachate**. University of Gothenburg. Suécia. **Environment International**. 2005. ISSN: 0160-4120 – Qualis A1. Disponível em: <<http://gup.ub.gu.se/gup/record/index.xsql?pubid=58229>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

FOWLER, J.; DUKE, M.; SCHIMIDT, M.L.; CRABTREE, B.; BAGBY, R.M.; TRAINER, E. **Dewatering sewage sludge and hazardous sludge with geotextile tubes.** Geosynthetics. Seventh International Conference on Geosynthetics, 2002, Nice. Anais... Nice, França. 22-27, Set. 2002. p. 1007-1012.

FRANÇA, J.T.L. **Remoção de lodo de lagoa facultativa: avaliação quantitativa e qualitativa do lodo acumulado e seu acondicionamento em bag.** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP. Campinas, 2010.

GAFFNEY, D.A.; MARTIN, S.M.; MAHER, M.H.; BENNERT, T.A. **Dewatering contaminated, fine-grained material using geotextiles.** SI Geosolutions. Chattanooga, Tennessee. 1999. GPD-SM-500 Smart Solutions. EUA.

GASI, T. M. T. *et al.* **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades.** São Paulo: CETESB, 1988. 36p. Série Manuais, n.º 3.

GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas.** Universidade Federal do Espírito Santo, 1999. 79 p. Projeto PROSAB.

GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários.** ABES, RiMa, Rio de Janeiro, 2003. 438 p. Projeto PROSAB

GONÇALVES, R.F. et al. **Desidratação de lodo de esgotos.** In: ANDREOLI, C.V. et al. (coord). Resíduos sólidos de saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. 1. Ed. Curitiba: ABES 2001. PROSAB. Cap. 3. P. 57-86. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/CLeverson.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2012.

GONÇALVES, R. F.; LIMA, M. R. P.; MÜLLER, P. S. G. **Desidratação de lodo de lagoas anaeróbias de estabilização em leitos de secagem na região sudeste do Brasil.** Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Lima, APIS, 1998, p.1-11 Ilus. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 26 (AIDIS 98). Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar079.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

GONÇALVES, R. F.; MARTINS, H.; VACCARI, K. P. WANKE, R. **Estudo do desaguamento de diferentes tipos de lodos de esgotos através de drenagem natural da água livre utilizando o desaguador estático vertical - DEV**. 33ª Assembléia Nacional da Assemae. Santo André. 2003. Disponível em: <http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab_116.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2012.

HALL, J. E. **Standardizing and the management of biossolids: the international experience**. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná/Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998. p. 113-122.

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico. **Mapa das regiões administrativas**. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional do Estado de São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/mapas_ra.aspx?ra=13>. Acesso em: 01 ago. 2012.

KOERNER, G.R.; KOERNER, R.M. **Geotextile tube assessment using a hanging bag test**. Geosynthetic Institute, Folsom, PA, USA. 27 jan. 2006. Geotextiles and Geomembranes 24. 2006. p. 129–137. Elsevier Ltd.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brock**. 10ª ed. São Paulo. Prentice Hall, 2004. Pearson Education do Brasil. 608p. Título original: *Brock Biology of Microorganisms 10th edition*. 2003. Pearson Education, Inc.

MALTA, Tatiana Siqueira. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ**. Dissertação (Mestrado) Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, 2001. 68 p.

MANO, E.B. **Polímeros como materiais de engenharia**. Rio de Janeiro: editora Edgard Blücher LTDA, 1991.

MANZOCHI, Clarice Ilse Schwarz. **Logística para tratamento e disposição final de lodos de ETE's visando reciclagem agrícola**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MARIANO, Adriano Pinto. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2006.

MEDEIROS FILHO, Carlos Fernandes. **Notas de Aula: Saneamento Básico / Engenharia Sanitária. Esgotamento Sanitário em Comunidades Rurais**. Universidade Federal de Campina Grande. Set. 1998. Sítio eletrônico. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/SBdir.html?submit=Voltar+%E0+Abertura>>. Acesso em: 03 mar. 2012.

MUTHUKUMARAN, A.E.; LLAMPARUTHI, K. **Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering**. Anna University - Chennai, India. Geotextiles and Geomembranes. 2006. Volume: 24, Issue: 4. ISSN 0266-1144 - **Qualis A1**. Disponível em: <<http://www.mendeley.com/research/laboratory-studies-geotextile-filters-used-geotextile-tube-dewatering-1/>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

NEWMAN, P; HODGSON, M; ROSSELOT, E. **The disposal of tailings and minewater sludge using geotextile dewatering techniques**. Minerals Engineering, v. 17, n. 2. Fev. 2004. p. 115-121. Elsevier.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Aplicação de lodo de esgotos municipais do solo: ensaios de respirometria para avaliar a estabilidade do lodo**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil. Unicamp. Campinas, 1996.

PARÁIBA, Lourival Costa (coordenador). **Alerta para o lodo**. Artigos Técnicos, Embrapa. Revista DAE. Agência FAPESP, 2009. Disponível em: <http://www.revistadae.com.br/novosite/noticias_interna.php?id=1704>. Acesso em: 15 set. 2009.

PAULINO, R.C., CASTRO, E.A.; SOCCOL, V.T. **Tratamento anaeróbio de esgoto e sua eficiência na viabilidade de ovos de helmintos**. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical. set-out, 2001. p.421-428. Laboratório de Parasitologia do Departamento de Patologia Básica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsbmt/v34n5/5990.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

PEREIRA, Clodoveu Reis. **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos gerados na Estação de Tratamento de Esgoto de Anápolis-GO**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. GOIÂNIA, 2007.

PIEPER, Karla Maria Cypriano. **Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

PILARCZYK, K.W. **Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering**. Rotterdam, Netherlands. A. A. Balkema Publishers. 2000. Brookfield. ISBN-9058093026.

REAMI, Luciano. **Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto: Estudo de caso de Restinga SP**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo. UNICAMP, Campinas, 2011. 189p.

RITCHIE, L. S. **An ether sedimentation technique for routine stool examinations**. Bull. US Army. Med. Dep. v. 8, p. 326, 1948.

RUGGERI JUNIOR, Humberto Carlos. **Pós-tratamento de Efluente de Lagoa Facultativa visando à remoção de Nitrogênio Amoniacal**. Tese (Doutorado). ed. rev. São Paulo, USP, 2011. 364p.

RUTKOWSKI, E. (coordenadora). **BDT@ - Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais**. Laboratório Fluxus. DSA/FEC. Unicamp. 2005. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/lagoas.html#sistlaganafac>>. Acesso em: 27 jan. 2012.

SABESP – Companhia De Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Avaliação preliminar de polímero**. Relatório Técnico da ETE Franca. Unidade de Negócio Pardo e Grande. Franca. 2008.

SHEFFIELD, R.E.; BARKER, J.C.; SHAFFER, K.A. **Sludge Management & Closure Procedures for Anaerobic Lagoons**. College of Agriculture & Life Sciences - NC State University School of Agriculture. NC A&T State University, USA, 2000. Disponível em: <<http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/manure/ag604.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

SILVA JÚNIOR, Nathanael. **Memorial de caracterização de empreendimentos**, Estação de tratamento de esgoto de Franca. SABESP, 2010.

SILVA, Telma Salesa Santana da. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. Dissertação (Mestrado). Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 1999. 88 p.

SIVIERO, A.R. *et al.* **Avaliação da biodegradação no solo de resíduos gerados em refinaria de petróleo**. Holos Environment, v.6, n.2. 2006. p. 106. ISSN:1519-8634.

SOCCOL, V.T. **Aspectos sanitários do lodo de esgoto**. In: Seminário sobre gerenciamento de biossólidos de mercosul. 1998. Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR. ABES, 1998. p.65-72.

SOCCOL, V.T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. **Agentes patogênicos: helmintos e protozoários**. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. [S.l.; s.n.], 1999. P.156-179.

STEPHENS, T.; CASTRO, N.P.B.; MARQUES, A.C.M.; MELO, L.C.Q.C. **Canal do Fundão Contaminated Sediments GDT Analysis versus Actual Full Scale Project Results**. American Society of Civil Engineers - ASCE. Geo-Frontiers 2011 conference: Advances in Geotechnical Engineering. ASCE. Dallas, Texas, EUA. 13-16, mar. 2011. ISBN: 978-0-7844-1165-0. Geosynthetics, p. 2131-2140.

TAVEIRA, E.J.A GONÇALVES, R.F.; OLIVEIRA, F.F. **Produção de lodo em lagoa anaeróbia tratando esgoto sanitário e lodo proveniente de polimento físico-químico de lagoa facultativa**. Revista Engenharia, Ciência & Tecnologia. Vitória. v. 04, n. 03, p. 33-46, 2001. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-173.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2011.

UEHARA, M. Y.; VIDAL, W. L. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: CETESB, 1989. 91p.

U.S. EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA). **Process design manual - Land application of municipal sludge**. Cincinnati OH-45268 - EPA - 625/1-83.016. October 1983. Disponível em: <<http://yosemite.epa.gov/water/owrcatalog.nsf/e673c95b11602f2385256ae1007279fe/69bef6cae57de23085256b060072489f!OpenDocument>>. Acesso em: 06 fev. 2012

U.S. EPA. **Land Application of Sewage Sludge. A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503.** EPA/831-B-93-002b. December 1994. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

VERONEZ, A. H. **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento.** Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP, Campinas, 2009. 129 p.

VICTORETTI, Benoit Almeida. **Contribuição ao emprego de lagoas de estabilização como processo para depuração de esgotos domésticos.** CETESB. São Paulo, 1973.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2. ed. Belo Horizonte, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de Estabilização.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. Belo Horizonte, 2002.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 3. ed. v.1. Belo Horizonte, 2005.

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