

CLODOVEU REIS PEREIRA

**GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
GERADOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DE ANÁPOLIS-GO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Henriques de Carvalho

GOIÂNIA

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

P436 Pereira, Clodoveu Reis.

Gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na estação de tratamento de esgoto de Anápolis, GO / Clodoveu Reis Pereira. — 2007.

225 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente)—
Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás,
Goiânia, 2007.

Inclui apêndices.

Bibliografia: f. 194-198.

1. Esgotos – Anápolis. I. Título.

CDD 628.3098173

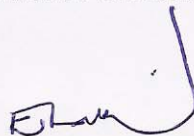
CLODOVEU REIS PEREIRA

**GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
GERADOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DE ANÁPOLIS - GO**

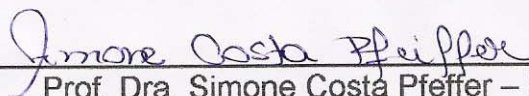
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Goiânia, 26 de março de 2007

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eraldo Henriques de Carvalho – UFG
Presidente



Prof. Dra. Simone Costa Pfeffer – UFG
Membro efetivo



Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho – Unicamp
Membro efetivo

À minha esposa Jane, pelo companheirismo.

Às minhas filhas Laísa e Lenise, evidência da bondade de Deus em minha vida.

À minha mãe Angélica, pelo exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Eraldo Henriques de Carvalho, pela disponibilidade e paciência na orientação deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente–PPGEMA, pela ousadia e disposição de tornar realidade na Universidade Federal de Goiás–UFG um curso de tamanha relevância.

Às secretárias do PPGMA, Deuzélia e Marizan, pela dedicação dispensada a todos os alunos do mestrado.

Aos colegas de curso Osmar Mendes, Maura, Deusair, em cujo nome agradeço a todos os demais alunos da primeira turma do PPGEMA, pela troca de experiência e amizade.

Ao meu irmão Júlio, pela especial amizade.

Aos diretores, engenheiros e técnicos da SANEAGO, pelo apoio a este servidor da empresa e por franquear os canais de informação e os serviços disponíveis, a favor da boa execução desta pesquisa.

Ao servidor Dorvalino, da ETE–Anápolis, em cujo nome agradeço a todos os demais companheiros dessa empresa, por sua ajuda imprescindível e encorajadora na lida com os rejeitos do esgoto.

Ao Engenheiro João Bosco de Andrade, eterno batalhador pela causa do saneamento, pelo incentivo.

Às amigas Maria José e Suzana, pela ajuda nos aspectos formais deste trabalho.

A todos os amigos, pelo estímulo, motivação e companheirismo.

A ecologia não trata apenas das questões ligadas ao verde ou às espécies em extinção. A ecologia significa um novo paradigma, quer dizer, uma nova forma de organizar o conjunto de relações dos seres humanos entre si, com a natureza e com o seu sentido neste universo. Ela inaugura uma nova aliança com a criação, aliança de veneração e de fraternidade. [...] A Terra deve ser libertada do cativeiro de um tipo de desenvolvimento que lhe nega a dignidade, dilapida seus recursos e quebra o equilíbrio costurado em milhões de anos de trabalho cósmico.

Boff (2004)

RESUMO

O presente trabalho traz uma proposta para a elaboração de um plano de gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na estação de tratamento de esgoto–ETE de Anápolis–GO, em operação desde 1989. A caracterização do material retido no tratamento preliminar foi feita de modo a contemplar a estação das chuvas e a de estiagem, totalizando 42 experimentos. Foram feitas as caracterizações gravimétrica e volumétrica do material retido nas grades e a caracterização volumétrica da areia retida nos desarenadores. A caracterização volumétrica do lodo das lagoas foi feita por batimetria, com número de seções proporcional ao tamanho de cada lagoa. Inicialmente, as medições das alturas do lodo foram feitas com a utilização do aparelho *sludge judge*, de fabricação americana. Posteriormente, foram tomadas novas medidas utilizando aparelho com haste de PVC fixada a um disco de fibra de vidro de fabricação artesanal, que deu maior confiabilidade ao experimento. As características físico-químicas e bacteriológicas do lodo das lagoas foram analisadas conforme o *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Foram estudadas opções para a retirada e o destino dos resíduos sólidos produzidos, com base nos parâmetros de 2005 levantados na ETE–Anápolis. O valor obtido para volume médio de material retido nas grades por volume de esgoto tratado de $0,004 \text{ L/m}^3$ é compatível com resultados encontrados em diversas ETES do Brasil. O mesmo se pode afirmar para a razão de areia retida por esgoto tratado de $32,9 \text{ L/1.000 m}^3$. O valor médio de $0,065 \text{ L/hab.dia}$ para taxa volumétrica *per capita* de lodo depositado nas lagoas anaeróbias e a taxa de acúmulo de lodo de $8,97 \text{ cm/ano}$ encontrados neste estudo são inferiores às médias dos valores citados na literatura, de $0,15 \text{ L/hab.dia}$ e $16,27 \text{ cm/ano}$, respectivamente. Em vista das características físico-químicas e bacteriológicas do lodo identificadas na presente pesquisa, conclui-se que há várias possibilidades de destinação, embora a proximidade entre o aterro sanitário municipal e a ETE indique o depósito nesse local como mais vantajoso em termos financeiros.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Lagoa de estabilização. Remoção de lodo. Tratamento de esgoto. Limpeza de lagoa.

ABSTRACT

MANAGEMENT OF SOLID RESIDUES GENERATED AT THE SEWAGE TREATMENT PLANT OF ANÁPOLIS-GO

This work proposes a plan to manage the solid residues produced at the sewage treatment plant (STP) in Anápolis, a city in the State of Goiás, in the Midwestern Region of Brazil, which has been in operation since 1989. The characterization of the material retained in the preliminary treatment was carried out in order to encompass the rainy and dry seasons, totalizing 42 experiments. Gravimetric and volumetric characterizations of the material retained in the barrier and the volumetric characterization of the sand retained in the system were carried out. The volumetric characterization of the sludge from the ponds was performed through bathymetry, using a number of sections proportional to the size of each lagoon examined. First, the height of the sludge was measured by an instrument produced in the United States of America called sludge judge. After that, new measures were taken with a plastic (PVC) handmade instrument, which gave the experiment a higher degree of certainty. The physicochemical and bacteriological characteristics of the sludge were analyzed according to the *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Some options for removing the solid residues produced, as well as for using them were studied based on the parameters of the STP–Anápolis in 2005. The value found for the average volume of the material retained in the barrier per volume of treated sewage (0.004 L/m^3) is similar to the results of other STPs in Brazil. The same remains true for the sand retained by the treated sewage (32.9 L/1.000 m^3). The average value of $0.065 \text{ L/inhab.day}$ for *per capita* volumetric rate of sludge accumulated in the anaerobic lagoons and the sludge accumulation rate of 8.97 cm/year obtained in this study are below the mean values found in the literature, which are 0.15 L/inhab.day and 16.27 cm/year , respectively. Due to the sludge physicochemical and bacteriological characteristics identified in this research, it is possible to conclude that there are several possibilities for its usage, although the fact that the landfill and the STP are very close to each other indicates that the storage of the sludge in that area is the most interesting option in financial terms.

Key-words: Solid residues. Stabilization pond. Sludge. Parameters for sewage treatment plants.

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1	Tratamento preliminar da ETE–Anápolis	50
Esquema 2	Tratamento biológico da ETE–Anápolis em módulos	50
Esquema 3	Representação esquemática do gerenciamento de tratamento e destino final do lodo de esgoto	100
Esquema 4	Seções batimétricas para a medição das alturas de lodo nas lagoas anaeróbias	126
Esquema 5	Alternativas de gerenciamento do lodo	186

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1	Vista aérea da ETE–Anápolis	49
Fotografia 2	Vista da grade grosseira da ETE–Anápolis	52
Fotografia 3	Vista da grade fina da ETE–Anápolis	52
Fotografia 4	Vista do desarenador da ETE–Anápolis	53
Fotografia 5	Vista do medidor de vazão da ETE–Anápolis (Calha Parlhall, W = 4 pés)	53
Fotografia 6	Vista do gradeamento fino da ETE–Anápolis	120
Fotografia 7	Vista do material retirado das grades finas	120
Fotografia 8	Vista do tambor e da balança utilizados na caracterização do material retido nas grades finas	121
Fotografia 9	Vista do depósito de areia retirada do desarenador	124
Fotografia 10	Vista da medição da altura de lodo em lagoa da ETE–Anápolis	127
Fotografia 11	Vista do aparelho <i>sludge judge</i>	129
Fotografia 12	Vista da operação de medição de lodo com o <i>sludge judge</i>	129
Fotografia 13	Vista da haste de PVC com disco de fibra de vidro	130
Fotografia 14	Vista parcial do <i>bypass</i> a montante do poço de sucção, após intensas precipitações	139
Fotografia 15	Vista das valas próximas ao gradeamento onde é depositado o material gradeado	156
Fotografia 16	Vista da operação de transporte da areia retirada na limpeza do desarenador	157
Fotografia 17	Vista do local de deposição da areia removida dos desarenadores	158
Fotografia 18	Erosão localizada no Bairro Polocentro, no município de Anápolis	180
Fotografia 19	Vista da região de onde foi retirado cascalho	180

LISTA DE GRÁFICOS E MAPA

Gráfico 1	Hidrograma típico de uma ETE	36
Gráfico 2	Variação da vazão de esgoto ao longo dos dias do ano de 2005, em função da vazão média horária, obtida para a ETE–Anápolis	138
Gráfico 3	Variação da vazão afluyente no curso do dia de maior geração de esgoto no ano de 2005, em função da média de vazão no mesmo dia, para a ETE–Anápolis	141
Gráfico 4	Variação da vazão afluyente no curso do dia de menor geração de esgoto no ano de 2005, em função da média de vazão no mesmo dia, para a ETE–Anápolis	141
Gráfico 5	Comparação da composição do esgoto da ETE–Anápolis com parâmetros citados na literatura	146
Gráfico 6	Proporção volumétrica de materiais retidos nas grades em período sem chuvas	154
Gráfico 7	Proporção volumétrica de materiais retidos nas grades após chuvas	155
Gráfico 8	Proporção volumétrica de materiais retidos nas grades após intensas precipitações	155
Gráfico 9	Média geral da proporção volumétrica de materiais retidos nas grades	156
Gráfico 10	Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 1	163
Gráfico 11	Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 2	163
Gráfico 12	Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 3	164
Gráfico 13	Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 4	164
Gráfico 14	Variação do volume de lodo em função do teor de sólidos secos (cuja consistência pode variar em condições específicas)	177
Mapa 1	Localização do aterro sanitário e da ETE–Anápolis	179

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Características dos principais níveis de tratamento de esgoto	33
Quadro 2.	Produtos gerados no tratamento de esgoto	34
Quadro 3.	Produção de esgoto por atividade e usuário	35
Quadro 4.	Características do tratamento preliminar da ETE–Anápolis	51
Quadro 5.	Dimensões das lagoas de estabilização da ETE–Anápolis	54
Quadro 6.	Principais parâmetros de projeto da ETE–Anápolis	58
Quadro 7.	Volume de material retido nas grades segundo várias fontes	60
Quadro 8.	Padrões referentes a metais em lodo de esgoto utilizado na agricultura e nos solos agrícolas	87
Quadro 9.	Principais alternativas de disposição final do lodo	103
Quadro 10.	Vantagens e desvantagens das alternativas de disposição de lodo comumente adotadas	105
Quadro 11.	Vantagens e desvantagens das técnicas de remoção de lodo de lagoas de estabilização com a desativação da lagoa	110
Quadro 12.	Vantagens e desvantagens das técnicas de remoção de lodo de lagoas de estabilização com a lagoa em funcionamento	111
Quadro 13.	Detalhes das dimensões e das seções batimétricas de cada lagoa	126
Quadro 14.	Volume de material retido nas grades com retirada de material a intervalos de 1 h	152
Quadro 15.	Demonstrativo de serviços e custos mensais para implantação de contêineres	173
Quadro 16.	Condição de funcionamento de três lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis para o ano de 2010	175
Quadro 17.	Média de precipitação e evaporação nos meses de estiagem para região de Anápolis no período 1983–2003	176
Quadro 18.	Demonstrativo dos serviços para retirada de lodo por caminhões limpa-fossa	182
Quadro 19.	Demonstrativo dos serviços e custos para retirada e transporte de lodo para o aterro sanitário de Anápolis	184
Quadro 20.	Demonstrativo dos serviços e custos de higienização, carregamento, transporte e disposição do lodo	185
Quadro 21.	Demonstrativo dos custos totais para cada proposta	187

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características típicas de sólidos no esgoto bruto	40
Tabela 2.	Valores de DBO para o esgoto afluyente da ETE–Anápolis (jun.–set. 2005)	42
Tabela 3.	Estimativa de população e de vazão de esgoto no projeto da ETE–Anápolis	56
Tabela 4.	População de Anápolis 1991–2005	57
Tabela 5.	População servida com tratamento e coleta de esgoto em Anápolis no período de funcionamento da ETE	57
Tabela 6.	Quantidade de material retido nas grades conforme a abertura entre barras	60
Tabela 7.	Média dos volumes de material retido nas grades em cidades do Brasil (2005)	61
Tabela 8.	Composição gravimétrica do material retido nas grades de ETES do Estado de São Paulo	62
Tabela 9.	Velocidade de sedimentação em função do tamanho da partícula	65
Tabela 10.	Média dos volumes de material retido nos desarenadores em cidades do Brasil (2005)	68
Tabela 11.	Remoção de areia segundo várias referências de literatura	69
Tabela 12.	Remoção de areia nas ETES de Pinheiros e Vila Leopoldina	69
Tabela 13.	Valores de taxa de aplicação de carga orgânica e remoção de DBO ₅ em lagoas anaeróbias	73
Tabela 14.	Desempenho de lagoas em Campina Grande–PB	78
Tabela 15.	Composição do lodo gerado em ETES	81
Tabela 16.	Teores de sólidos totais e de sólidos voláteis em diferentes tipos de lagoas de estabilização implantadas no Espírito Santo	82
Tabela 17.	Características e quantidade do lodo produzido em vários sistemas de tratamento de esgoto	84
Tabela 18.	Limites estabelecidos para patógenos pela Resolução n. 375 de 2006 do CONAMA e legislação dos Estados Unidos	88
Tabela 19.	Taxas de acumulação de lodo em lagoas anaeróbias e facultativas primárias	93
Tabela 20.	Alíquotas de amostras de esgoto coletadas para amostragem composta	117

Tabela 21.	DBO ₅ , pH e sólidos presentes no esgoto bruto em amostra composta	145
Tabela 22.	Eficiência na redução de DBO na ETE-Anápolis	146
Tabela 23.	Concentração de coliformes termotolerantes na ETE-Anápolis	147
Tabela 24.	Composição gravimétrica e média da quantidade de materiais retidos nas grades da ETE–Anápolis em período sem chuva	148
Tabela 25.	Composição gravimétrica e média da quantidade de materiais retidos nas grades da ETE–Anápolis em período com chuva	150
Tabela 26.	Composição gravimétrica e média da quantidade de materiais retidos nas grades da ETE–Anápolis após intensas precipitações	151
Tabela 27.	Volume médio diário de material retido nas grades (síntese das Tabelas 24, 25 e 26)	152
Tabela 28.	Variação da proporção de materiais retidos nas grades em função da pluviosidade	154
Tabela 29.	Quantidade diária de materiais retidos nos desarenadores	158
Tabela 30.	Proporção de material orgânico e material inerte presentes na areia .	160
Tabela 31.	Síntese dos volumes médios diários de material retido no tratamento preliminar	160
Tabela 32.	Resultados da medição do lodo com o aparelho <i>sludge judge</i>	161
Tabela 33.	Resultados da medição do lodo com o dispositivo do tipo haste de PVC	162
Tabela 34.	Taxa de acumulação de lodo e previsão de limpeza das lagoas anaeróbias (1990-2005) da ETE–Anápolis	165
Tabela 35.	Taxas de acumulação de lodo em lagoas do Espírito Santo	167
Tabela 36.	Taxas de acumulação de lodo em lagoas de Brasília	167
Tabela 37.	Teor de sólidos totais, fixos e voláteis das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis em junho de 2006	169
Tabela 38.	Parâmetros químicos do lodo das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis	170
Tabela 39.	Concentração de coliformes termotolerantes no lodo das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis em maio de 2006	171
Tabela 40.	Parâmetros microbiológicos do lodo das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis	171

Tabela 41.	Material retido no tratamento preliminar nas ETEs de Belo Horizonte–MG em 2005	200
Tabela 42.	Material retido no tratamento preliminar na ETE Hélio de Brito de Goiânia–GO em 2005	200
Tabela 43.	Material retido no tratamento preliminar em ETEs de São Paulo–SP em 2005	201
Tabela 44.	Material retido nas grades finas (espaçamento entre barras 2,0 cm) nas ETEs–Palmas–TO em 2004	201
Tabela 45.	Material retido no tratamento preliminar na ETE Padilha do Sul em Curitiba–PR em 2005	201
Tabela 46.	Material retido no tratamento preliminar na ETE Uberabinha em Uberlândia–MG em jul. 2005	201
Tabela 47.	Material retido no tratamento preliminar em ETEs de Brasília, DF no período 2001-2005	202
Tabela 48.	Total de material retido no tratamento preliminar em ETEs de Brasília, DF no período 2001-2005	203
Tabela 49.	Média anual das vazões horárias na ETE–Anápolis – 2005	204
Tabela 50.	Vazões no dia de maior consumo de 2005, 9 dez. 2005	204
Tabela 51.	Vazões no dia de menor consumo de 2005, 2 mar. 2005	205
Tabela 52.	Média de vazão em dias com chuva em 2005	205
Tabela 53.	Média de vazão em período de estiagem em 2005	206
Tabela 54.	Média de vazão em dias com intensas precipitações em 2005	207
Tabela 55.	Relação da precipitação diária no ano de 2005	208
Tabela 56.	Quantidade de precipitação diária acima de 5 mm	209
Tabela 57.	Material retido nas grades e no desarenador em 18 jan. 2006	210
Tabela 58.	Material retido nas grades e no desarenador em 24 jan. 2006	210
Tabela 59.	Material retido nas grades e no desarenador em 11 fev. 2005	210
Tabela 60.	Material retido nas grades e no desarenador em 21 fev. 2005	211
Tabela 61.	Material retido nas grades e no desarenador em 22 fev. 2005	211
Tabela 62.	Material retido nas grades e no desarenador em 15 mar. 2005	211
Tabela 63.	Material retido nas grades e no desarenador em 23 mar. 2005	212
Tabela 64.	Material retido nas grades e no desarenador em 6 abr. 2005	212
Tabela 65.	Material retido nas grades e no desarenador em 7 abr. 2005	212

Tabela 66.	Material retido nas grades e no desarenador em 26 abr. 2005	213
Tabela 67.	Material retido nas grades e no desarenador em 10 maio 2005	213
Tabela 68.	Material retido nas grades e no desarenador em 12 maio 2005	213
Tabela 69.	Material retido nas grades e no desarenador em 18 maio 2005	214
Tabela 70.	Material retido nas grades e no desarenador em 14 jun. 2005	214
Tabela 71.	Material retido nas grades e no desarenador em 15 jun. 2005	214
Tabela 72.	Material retido nas grades e no desarenador em 17 jun. 2005	215
Tabela 73.	Material retido nas grades e no desarenador em 6 jul. 2005	215
Tabela 74.	Material retido nas grades e no desarenador em 20 jul. 2005	215
Tabela 75.	Material retido nas grades e no desarenador em 3 ago. 2005	216
Tabela 76.	Material retido nas grades e no desarenador em 5 ago. 2005	216
Tabela 77.	Material retido nas grades e no desarenador em 11 ago. 2005	216
Tabela 78.	Material retido nas grades e no desarenador em 14 set. 2005	217
Tabela 79.	Material retido nas grades e no desarenador em 16 set. 2005	217
Tabela 80.	Material retido nas grades e no desarenador em 20 set. 2005	217
Tabela 81.	Material retido nas grades e no desarenador em 4 out. 2005	218
Tabela 82.	Material retido nas grades e no desarenador em 19 out. 2005	218
Tabela 83.	Material retido nas grades e no desarenador em 10 nov. 2005	218
Tabela 84.	Material retido nas grades e no desarenador em 23 nov. 2005	219
Tabela 85.	Material retido nas grades e no desarenador em 1º dez. 2005	219
Tabela 86.	Material retido nas grades e no desarenador em 15 dez. 2005	219
Tabela 87.	Material retido nas grades e no desarenador em 4 jan. 2006	220
Tabela 88.	Material retido nas grades e no desarenador em 31 mar. 2005	220
Tabela 89.	Material retido nas grades e no desarenador em 5 abr. 2005	220
Tabela 90.	Material retido nas grades e no desarenador em 5 nov. 2005	221
Tabela 91.	Material retido nas grades e no desarenador em 10 nov. 2005	221
Tabela 92.	Material retido nas grades e no desarenador em 14 dez. 2005	221
Tabela 93.	Material retido nas grades e no desarenador em 11 jan. 2006	222
Tabela 94.	Material retido nas grades e no desarenador em 31 jan. 2006	222
Tabela 95.	Material retido nas grades e no desarenador em 3 mar. 2005	222
Tabela 96.	Material retido nas grades e no desarenador em 10 mar. 2005	223
Tabela 97.	Material retido nas grades e no desarenador em 14 out. 2005	223
Tabela 98.	Material retido nas grades e no desarenador em 6 dez. 2005	223

Tabela 99.	Altura do lodo na lagoa anaeróbia 1	224
Tabela 100.	Altura do lodo na lagoa anaeróbia 2	224
Tabela 101.	Altura do lodo na lagoa anaeróbia 3	225
Tabela 102.	Altura do lodo na lagoa anaeróbia 4	225

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

aa – Ao ano

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento

CAESB – Companhia de Água e Esgoto de Brasília

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBO₅ – DBO em 5 dias de avaliação

DEMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EFES – Escola Federal do Espírito Santo

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

Funmineral – Fundo de Fomento a Mineração

hab – Habitante

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO – Instituto Nacional de Pesos e Medidas

NBR – Norma Brasileira Registrada

NMP – Número mais provável

OMS – Organização Mundial de Saúde

PASS – Programa de Ação Social

PRAD – Plano de Recuperação de Área Degradada

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SABESP – Companhia de Saneamento Básico de São Paulo

SANEAGO – Saneamento de Goiás

SANEATINS – Companhia de Saneamento do Tocantins

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SECTEC – Secretaria de Ciência e Tecnologia

SEMAGO – Secretaria do Meio Ambiente de Goiás

SNIS – Serviço Nacional de Informação e Saneamento

USEPA – Agência de Proteção Ambiental Americana

WHO – World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

C – carbono

Ca^{2+} – cátion divalente de cálcio

cm – centímetro

C:N:P – relação entre carbono, nitrogênio e fósforo

CO_2 – gás carbônico

COT – carbono orgânico total

d – dia

g – grama

H – altura

h – hora

ha – hectare

H_2S – gás sulfídrico

K – potássio

K_1 – coeficiente do dia de maior consumo de água

K_2 – coeficiente da hora de maior consumo de água

K_3 – coeficiente da hora de menor consumo de água

kg – quilograma

km – quilômetro

L – litro

m – metro

mm – milímetro

mg – miligrama

Mg^{2+} – cátion divalente de magnésio

MS – massa seca

N – nitrogênio

NH_3 – gás amônia

NMP – número mais provável

$^{\circ}C$ – grau Celsius

OD – oxigênio dissolvido

P – fósforo

p – população

pH – potencial hidrogeniônico

PO_4^{2-} – fosfato

Pot – potência instalada

Q – vazão

s – segundo

SF – sólidos fixos

SS – sólidos suspensos

SSV – sólidos suspensos voláteis

ST – sólidos totais

SV – sólidos voláteis

TDH – tempo de detenção hidráulica

TL – taxa linear de acumulação de lodo

TV – taxa volumétrica *per capita* de acumulação de lodo

V – volume

VA – volume de areia

VE – volume de esgoto tratado

V_i – volume coletado por hora

W – watt

Γ – peso específico

μm – micrômetro

Φ – densidade de potência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	26
2	OBJETIVOS	29
	2.1 Objetivo geral	29
	2.2 Objetivos específicos	29
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
	3.1 Tratamento do esgoto sanitário	30
	3.1.1 Níveis de tratamento	31
	3.1.2 Vazão de esgoto sanitário	32
	3.1.3 Características qualitativas do esgoto sanitário	38
	3.1.3.1 Características físicas	38
	3.1.3.2 Características químicas	41
	3.1.3.3 Características biológicas	46
	3.2 A ETE-Anápolis	49
	3.2.1 Arranjo da ETE-Anápolis	49
	3.2.2 Parâmetros adotados no projeto da ETE–Anápolis	54
	3.3 Operações físicas envolvidas no tratamento preliminar do esgoto sanitário	58
	3.3.1 Gradeamento	58
	3.3.1.1 Quantidade de material retido no gradeamento	59
	3.3.1.2 Natureza do material retido nas grades	61
	3.3.1.3 Limpeza das grades	62
	3.3.2 Caixas de areia	63
	3.3.2.1 Conceito, funcionamento e finalidades das caixas de areia	63
	3.3.2.2 Princípio e funcionamento das caixas de areia	65
	3.3.2.3 Deposição de material orgânico nas caixas de areia	66
	3.3.2.4 Quantidade de material retido nas caixas de areia	67
	3.3.2.5 Disposição final da areia	71
	3.4 Lagoas de estabilização	71
	3.4.1 Definição e vantagens das lagoas de estabilização	71
	3.4.2 Principais tipos de lagoas de estabilização	72
	3.4.3 Desempenho de lagoas de estabilização	77
	3.4.4 Lodo gerado em sistemas de tratamento de esgotos	78

3.4.4.1	Composição físico-química típica do lodo de lagoas de estabilização	80
3.4.4.2	Produção de lodo em lagoas de estabilização	88
3.5	Gerenciamento de resíduos sólidos	95
3.5.1	Conceitos	95
3.5.2	Classificação	95
3.5.3	Princípios de gerenciamento de resíduos sólidos	97
3.5.4	Gerenciamento dos resíduos do gradeamento e desarenador de ETE	98
3.5.5	Gerenciamento do lodo na ETE	99
3.5.5.1	Principais etapas do gerenciamento do lodo	99
3.5.5.2	Destinação do lodo	102
3.5.5.3	Controle qualitativo e quantitativo	106
3.5.5.4	Manuseio do lodo na ETE	107
3.5.5.5	Armazenamento do lodo	107
3.5.5.6	Transporte do lodo	108
3.5.5.7	Monitoramento do destino final do lodo	108
3.5.5.8	Rastreabilidade do lodo	109
3.5.5.9	Técnicas de remoção de lodo das lagoas	109
3.6	Legislação ambiental sobre resíduos sólidos	110
3.6.1	Leis federais	112
3.6.2	Leis estaduais	114
4	METODOLOGIA	116
4.1	Caracterização de parâmetros da ETE-Anápolis	116
4.1.1	Determinação da vazão média do esgoto sanitário	116
4.1.2	Determinação dos coeficientes de variação de vazão	116
4.1.3	Caracterização física, química e bacteriológica do esgoto bruto	116
4.1.4	Eficiência na remoção de DBO e coliformes termotolerantes nas lagoas de estabilização	118
4.2	Caracterização dos resíduos retidos nas grades	118
4.2.1	Composição gravimétrica	118

4.2.2	Influência das chuvas nas características dos materiais retidos nas grades	122
4.2.3	Influência do número de limpezas no volume retido na grade fina	123
4.3	Caracterização dos resíduos retidos no desarenador	124
4.4	Caracterização do lodo das lagoas de estabilização	125
4.4.1	Demarcação das seções batimétricas	125
4.4.2	Medição das alturas de lodo	127
4.4.3	Caracterização qualitativa	131
4.5	Alternativas técnico-econômicas para a destinação final de resíduos sólidos	132
4.5.1	Resíduos do tratamento preliminar	132
4.5.2	Lodo das lagoas	133
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	136
5.1	Vazão média na ETE	136
5.2	Coeficientes de variação de vazão	138
5.2.1	Coeficiente do dia de maior consumo (K_1)	138
5.2.2	Coeficiente da hora de maior consumo (K_2)	140
5.2.3	Coeficiente da hora de menor consumo (K_3)	140
5.3	Determinação da carga orgânica afluyente ao sistema de tratamento	142
5.4	Taxa de aplicação volumétrica	142
5.5	Cálculo do tempo de detenção hidráulica da lagoa anaeróbia	142
5.6	Cálculo do tempo de detenção hidráulica na lagoa facultativa aerada	143
5.7	Cálculo do tempo de detenção hidráulica para as lagoas de decantação	143
5.8	Cálculo da densidade de potência dos aeradores para as lagoas facultativas aeradas	143
5.9	Caracterização do esgoto da ETE–Anápolis	144
5.10	Eficiência da ETE-Anápolis	145
5.10.1	Eficiência na remoção de DBO	145
5.10.2	Eficiência na redução de coliformes termotolerantes	147

5.11 Aspectos quantitativos e qualitativos dos materiais retidos nas grades	148
5.11.1 Resultados obtidos para dias sem chuvas	148
5.11.2 Resultados obtidos em dias com chuva	149
5.11.3 Resultados obtidos para dias após intensas precipitações	150
5.11.4 Resultados obtidos para amostragem de resíduos a cada hora	151
5.11.5 Análise do material retido nas grades	151
5.12 Aspectos quantitativos e qualitativos do material retido no desarenador	157
5.13 Total de material retido no tratamento preliminar	160
5.14 Caracterização do lodo depositado nas lagoas anaeróbias ..	161
5.14.1 Caracterização quantitativa	161
5.14.2 Composição qualitativa do lodo das lagoas	168
5.14.2.1 Teores de sólidos totais e sólidos voláteis no lodo	168
5.14.2.2 Metais pesados e nutrientes presentes no lodo das lagoas ..	169
5.14.2.3 Microrganismos presentes no lodo das lagoas	169
5.15 Plano de gestão para os resíduos sólidos produzidos na ETE de Anápolis	171
5.15.1 Resíduos coletados no tratamento preliminar	171
5.15.2 Lodo das lagoas de estabilização	174
5.15.2.1 Etapa de secagem do lodo	176
5.15.2.2 Situação de áreas degradadas suscetíveis a reciclagem agrícola com lodo da ETE–Anápolis	179
5.15.2.3 Custos envolvidos com as operações de higienização, coleta e transporte do lodo de uma lagoa anaeróbia	181
5.15.2.4 Avaliação das propostas de gerenciamento do lodo	187
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	189
6.1 Conclusões	189
6.2 Recomendações	190
REFERÊNCIAS	194
APÊNDICES	199

APÊNDICE A – Material retido no tratamento preliminar em diversas ETEs do Brasil	200
APÊNDICE B – Tabelas de vazões na ETE–Anápolis–GO	204
APÊNDICE C – Precipitações na região de Anápolis–GO	208
APÊNDICE D – Material retido nas grades e no desarenador em 30 dias sem chuva	210
APÊNDICE E – Material retido nas grades e no desarenador em 6 dias com chuva	220
APÊNDICE F – Material retido nas grades e no desarenador em 6 dias com intensas precipitações	222
APÊNDICE G – Resultados das medições de lodo nas lagoas	224

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações e Saneamento—SNIS (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002), apenas 50,4% da população brasileira dispõe de coleta de esgoto. Além disso, somente 27,3% de todo o esgoto coletado recebe tratamento. O baixo índice de atendimento à população determinou como prioridade a coleta e o tratamento dos esgotos. Em razão disso, o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nas estações de tratamento—ETEs só recentemente passou a receber mais atenção do poder público, de gestores do serviço de saneamento e de projetistas.

Em qualquer proposta cujo objetivo seja a melhoria da qualidade de vida da população, tratar esgotos é uma medida imprescindível, pois há uma estreita relação entre saúde e saneamento. Considerando que até o presente apenas uma diminuta parcela da população brasileira teve acesso a esse serviço, a tendência natural é prever que venha a se multiplicar rapidamente o número de sistemas de tratamento de esgoto no país. A ampliação desse serviço acarretará o aumento proporcional de material sólido retido nas ETEs a demandar, imperativamente, medidas relativas a sua destinação, tendo em vista proporcionar melhores condições de vida à população e não causar danos ao meio ambiente.

O lodo produzido nas ETEs, acrescido de sólidos do tratamento preliminar, forma grandes volumes, que impõem decisões sobre sua remoção, seu transporte e sua destinação. Toneladas desse material estão sendo coletadas e dispostas diariamente de forma inadequada.

Muitos países têm repensado a concepção das ETEs e incorporado aos novos projetos a preocupação com a produção e o destino dos resíduos sólidos. A

reciclagem é o processo com as melhores perspectivas de evolução em todo o mundo, por tratar-se de uma alternativa econômica e ambientalmente mais adequada (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

As raras iniciativas no âmbito do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em ETEs em todo o Brasil, em regra, convergem para a mesma solução: conduzi-los para os aterros sanitários municipais. Em Goiás, a situação é, em todos os sentidos, semelhante à dos demais estados. Só recentemente construíram-se umas poucas dezenas de ETEs; e, com exceção da ETE–Goiânia, nenhum projeto inclui alguma proposta para o destino do lodo. O sistema de tratamento de Anápolis, em que são utilizadas lagoas de estabilização, é um dos raros no estado em operação há mais de 10 anos.

Não obstante a persistência desse cenário, atualmente têm surgido indícios promissores da compreensão que se vem formando no país acerca da gravidade do problema da geração do lodo de esgoto. Recentemente, foi aprovada a Resolução n. 375, que regulamenta a aplicação desse tipo de lodo em áreas agrícolas (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006).

As lagoas de estabilização, que funcionam como um sistema de tratamento biológico do esgoto sanitário, têm a favor de seu largo emprego no país os seguintes argumentos: possibilidade de implantação a um custo relativamente baixo, facilidade na operação, clima favorável e disponibilidade de áreas. Contudo, suas inúmeras vantagens não eliminam a necessidade de uma gestão adequada dos resíduos gerados nas ETEs. Esta subsiste como um desafio para a engenharia sanitária e ambiental brasileira.

São ainda escassos os relatos de experiências práticas de retirada de lodo de lagoas. Não há sequer uma determinação segura de quando deve acontecer a

remoção do lodo, nem uma definição clara de como devem ser limpas as lagoas. Sabe-se tão-somente que, após alguns anos em operação, o sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização necessita que se faça a retirada do lodo. Muitos sistemas em funcionamento há alguns anos no Brasil têm apresentado problemas operacionais que forçam os gestores de ETEs a buscar soluções emergenciais, em regra, de perspectiva imediatista e, não raro, sem o necessário respaldo técnico.

Na concepção do sistema da ETE–Anápolis, não se considerou a destinação adequada do lodo a ser removido das lagoas de estabilização e dos resíduos retidos nas grades e no desarenador. Em vista disso, o presente trabalho, que é pioneiro no estado de Goiás, propôs-se a, além de caracterizar quantitativa e qualitativamente os resíduos sólidos gerados na ETE–Anápolis, estimar custos e apresentar propostas para o gerenciamento desses resíduos. No intuito de oferecer subsídios para a elaboração de novos projetos e a operação de ETEs similares, na região de Anápolis, foram levantados dados que formam um conjunto de parâmetros de interesse na gestão dos resíduos sólidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar alternativas para a destinação dos resíduos sólidos gerados na Estação de Tratamento de Esgoto de Anápolis–GO, visando contribuir na elaboração de um plano de gerenciamento desses resíduos.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar em termos quantitativos e qualitativos os resíduos sólidos gerados na ETE–Anápolis;
- Diagnosticar os procedimentos utilizados para manejo e destinação dos resíduos;
- Propor alternativas técnico-econômicas para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos (acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final);
- Determinar os parâmetros de projetos representativos da região para o dimensionamento de grades, desarenador e lagoas de estabilização, relativos aos resíduos sólidos produzidos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Costuma-se classificar os esgotos em dois grupos principais: esgoto sanitário e esgoto industrial. Neste trabalho, são abordados apenas temas relativos ao esgoto sanitário, por ser este o afluente à ETE–Anápolis.

3.1 Tratamento do esgoto sanitário

Um sistema de esgotos sanitários é um conjunto de obras e instalações destinadas a propiciar a coleta, o transporte e o afastamento, bem como o tratamento e a disposição final dos esgotos de forma ambientalmente correta.

Os esgotos sanitários são constituídos de esgotos domésticos, uma parcela de água de chuva, água de infiltração e, eventualmente, uma parcela não significativa de esgotos industriais com características bem definidas. São compostos principalmente de água (99,9%) e de sólidos (0,1%).

Os esgotos domésticos provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização de água para fins domésticos. Compõem-se essencialmente de água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Os objetivos primordiais do tratamento do esgoto são a transformação de matérias orgânicas em matérias inorgânicas e a remoção dos microrganismos patogênicos e de matéria tóxica, a fim de garantir a saúde pública e a proteção do meio ambiente. A definição do tipo de tratamento depende dos padrões de emissão do tratamento do esgoto. O sistema deve produzir um efluente em consonância com

os padrões exigidos pela legislação ambiental. Segundo Sperling (1996a), os requisitos a serem atingidos para o efluente são função de legislação específica, a qual prevê padrões de qualidade para o lançamento de efluente e para o corpo receptor.

3.1.1 Níveis de tratamento

A remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de nível de tratamento e eficiência do tratamento (SPERLING, 1996a). Tendo por referencial os padrões de eficiência, vários autores, entre eles Sperling (1996a), propõem a seguinte classificação para as formas de tratamento do esgoto sanitário:

- Tratamento preliminar – objetiva a remoção dos sólidos grosseiros, a fim de evitar danos a equipamentos, às unidades subseqüentes e aos corpos receptores;
- Tratamento primário – visa à remoção de sólidos sedimentáveis remanescentes e parte da matéria orgânica; é a fase em que predominam os mecanismos físicos;
- Tratamento secundário – tem a finalidade de alcançar maior eficiência na remoção da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão; nessa fase, predominam os mecanismos biológicos: as bactérias que efetuam o tratamento se reproduzem e têm a sua massa total aumentada em função da quantidade de matéria degradada;
- Tratamento terciário (avançado) – objetiva a remoção de nutrientes, de coliformes e de uma parte complementar de demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

No Quadro 1, apresenta-se uma síntese dos três primeiros níveis de tratamento de esgoto e de suas características. Complementarmente, no Quadro 2, é apresentada uma relação de produtos gerados no tratamento de esgotos, de acordo com a forma de tratamento e o processo empregado.

3.1.2 Vazão de esgoto sanitário

Inúmeros fatores influenciam a contribuição dos esgotos domésticos. Contudo, esta depende fundamentalmente do consumo de água pela população. Em regra, ela tem origem na utilização da água do sistema público de abastecimento. Parte da água consumida pela população será encaminhada ao sistema de coleta de esgoto e, posteriormente, ao sistema de tratamento, quando este existir. Há uma relação muito próxima entre o consumo *per capita* de água e a contribuição *per capita* de esgoto por dia. A vazão adotada nos projetos de esgoto sanitário é função direta da população a ser atendida no projeto.

Segundo Fernandes (1997), no Brasil adota-se um valor *per capita* da ordem de 150 L/hab.dia a 200 L/hab.dia. São coerentes com esse parâmetro os valores utilizados em projetos da empresa Saneamento de Goiás S.A.–SANEAGO. A NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) indica valores entre 120 L/hab.dia a 200 L/hab.dia.

Tsutiya e Alem Sobrinho (1999) consideram que o consumo *per capita* adotado em projetos visa atender ao consumo doméstico, ao consumo comercial de indústrias que não utilizam água em seus processamentos, ao consumo público e às perdas. No entanto, esses autores frisam que, para o dimensionamento do sistema

de esgotos, deve ser considerado o consumo de água *per capita* efetivo, sem a inclusão das perdas de água.

Quadro 1 Características dos principais níveis de tratamento de esgoto

CARACTERÍSTICA	NÍVEL DO TRATAMENTO ¹		
	PRELIMINAR	PRIMÁRIO	SECUNDÁRIO
Poluentes removidos	Sólidos grosseiros	Sólidos sedimentáveis DBO em suspensão	Sólidos não sedimentáveis DBO em suspensão fina DBO solúvel Nutrientes (parcialmente) Patogênicos (parcialmente)
Eficiência de remoção	–	Sólidos em suspensão: 60% - 70% DBO: 30% - 40% Coliformes: 30% - 40%	DBO: 60% - 99% Coliformes: 60% - 99% ³ Nutrientes: 10% - 55% ³
Mecanismo de tratamento predominante	Físico	Físico	Biológico
Cumprir o padrão de lançamento? ²	Não	Não	Usualmente sim
Aplicação	Montante de elevatória Etapa inicial de tratamento	Tratamento parcial Etapa intermediária de um tratamento mais completo	Tratamento mais completo para matéria orgânica e sólidos em suspensão (para nutrientes e coliformes, com adaptações ou inclusão de etapas específicas)

Fonte: Sperling (1996a)

¹ Uma ETE de nível secundário usualmente tem tratamento preliminar, mas pode ou não ter tratamento primário (depende do processo).

² O padrão de lançamento tal como expresso na legislação. O órgão ambiental poderá autorizar outros valores para o lançamento, caso estudos ambientais demonstrem que o corpo receptor continuará enquadrado em sua classe.

³ A eficiência de remoção poderá ser superior, caso haja alguma etapa de remoção específica.

Quadro 2 Produtos gerados no tratamento de esgoto

TRATAMENTO	PROCESSOS E OPERAÇÕES	PRODUTOS GERADOS
Preliminar	<ul style="list-style-type: none"> •Gradeamento •Remoção de areia •Separação de óleo 	<ul style="list-style-type: none"> •Material gradeado: madeira, trapos, folhas e outros •Areia, silte etc. •Óleo e espuma oleosa
Primário	<ul style="list-style-type: none"> •Sedimentação •Flotação por ar dissolvido •Coagulação e sedimentação 	<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos orgânicos, espuma •Matéria graxa, espuma •Sólidos orgânicos, precipitados químicos, espuma
Secundário	<ul style="list-style-type: none"> •Lodos ativados em geral, filtros biológicos, com sedimentação final 	<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos gerados no processo biológico
Terciário	<ul style="list-style-type: none"> •Coagulação química e sedimentação •Filtração em areia •Adsorção em carvão ativado 	<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos da precipitação química, hidróxidos •Sólidos na água de lavagem •Carvão ativado para ser regenerado
Lagoas de estabilização	<ul style="list-style-type: none"> •Lagoas fotossintéticas •Lagoas aeradas •Lagoas de decantação 	<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos acumulados no fundo, algas no efluente •Sólidos em suspensão no efluente •Sólidos gerados na lagoa aerada
Aplicação no terreno	<ul style="list-style-type: none"> •Pré-tratamento primário ou secundário 	<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos em suspensão no efluente do pré-tratamento
Adensamento do lodo	<ul style="list-style-type: none"> •Adensamento por gravidade, por flotação, filtros de esteira, centrífugas 	<ul style="list-style-type: none"> •Lodo concentrado
Tratamento do lodo	<ul style="list-style-type: none"> •Digestão anaeróbia, aeróbia, compostagem 	<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos orgânicos parcialmente estabilizados, gás
Remoção da umidade do lodo	<ul style="list-style-type: none"> •Leitos de secagem, desidratação mecânica 	<ul style="list-style-type: none"> •Torta de lodo seco
Disposição final do lodo	<ul style="list-style-type: none"> •Aterros •Incineração 	<ul style="list-style-type: none"> •Sólidos secos espalhados e compactados •Cinzas •Vários produtos sólidos rapidamente dispersados e diluídos

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2005)

No Quadro 3 são apresentados valores de produção de esgoto por pessoa conforme o tipo de atividade e ocupação. Esses dados constituem um parâmetro

para o cálculo de vazão de projetos de redes coletoras e de sistemas de tratamento de esgotos.

Quadro 3 Produção de esgoto por atividade e usuário

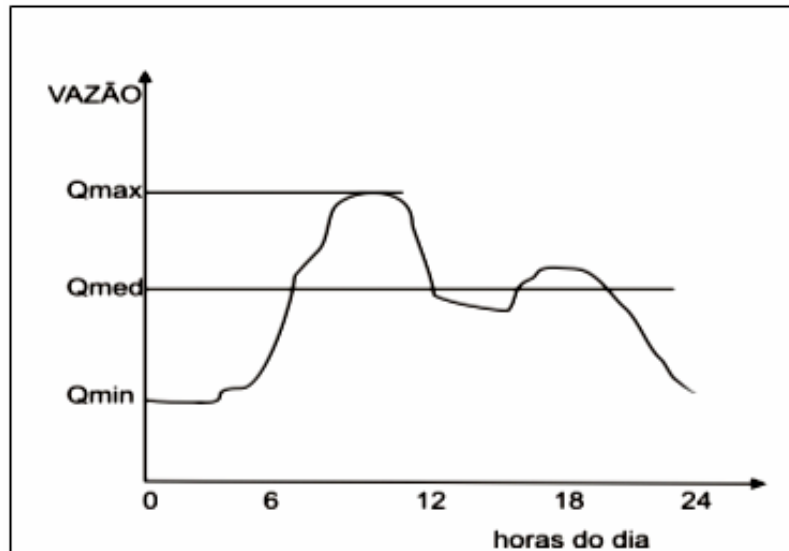
ATIVIDADE/USUÁRIO	UNIDADE	ESGOTO (L/d)
Residência (urbana)	Pessoa	150
Residência (popular ou rural)	Pessoa	120
Apartamento	Pessoa	200
Escola (internato)	Pessoa	150
Escola (externato)	Pessoa	50
Hotel (sem cozinha e lavanderia)	Pessoa	120
Hospital	Leito	250
Alojamento (provisório)	Pessoa	80
Fábrica (em geral)	Pessoa	70
Escritório e edifício público	Pessoa	50
Restaurante ou similar	Refeição	25
Cinema, teatro e templo	Lugar	2

Fonte: NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993)

Entretanto, nem toda a água consumida retorna para a rede de esgoto. É o que ocorre, por exemplo, com a água de lavagem de quintal. Por esse motivo, a relação esgoto–água, denominada “coeficiente de retorno” pela NBR 9649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986), é sempre menor que a unidade. A maioria dos projetistas acata a orientação da NBR 9649 e adota o valor de 0,80 para esse parâmetro.

Entre os outros fatores que interferem na contribuição de esgotos, destacam-se como os mais importantes: a região atendida, o clima, as atividades desenvolvidas, o tipo de atividade industrial, os hábitos de higiene, o nível socioeconômico, o nível cultural, além de inúmeras variáveis comportamentais.

O Gráfico 1 apresenta um hidrograma característico da vazão afluyente a uma ETE ao longo do dia. Esse hidrograma pode sofrer pequenas variações de acordo com a distância média das redes coletoras em relação à ETE.



Fonte: Sperling (1996a)

Gráfico 1 Hidrograma típico de uma ETE

À vazão a ser considerada no dimensionamento do sistema deve ser acrescentada a vazão de infiltração de água através das juntas e paredes das canalizações, caixas de passagem e poços de visita. Esse parâmetro é adotado em função da extensão da rede coletora, sem que seja considerada a influência do fator população atendida. Clark e Morriss (1991) avaliam que a quantidade de água infiltrada depende de diversos fatores, como a extensão da rede coletora, a área servida, o tipo de solo, a profundidade do lençol freático, a topografia e a densidade populacional (número de conexões por unidade de área). Quando não se dispõe de dados específicos definidos, a NBR 9649 recomenda adotar valores de 0,05 L/s.km a 1,0 L/s.km, dependendo das condições locais. Clark e Morriss (1991) sugerem coeficientes de infiltração, em função do diâmetro da tubulação, de 0,01 m³/d.km a

1,0 m³/d.km por mm. Por exemplo: para um tubo de diâmetro de 200 mm, a taxa de infiltração variará entre 2 a 200 m³/d.km.

• **Coefficientes de variação de vazão de esgoto**

Tanto o consumo de água quanto a geração de esgoto de uma comunidade variam no curso do dia e ao longo do ano. Jordão e Pessoa (2005) afirmam que a variação horária de vazão tem menor amplitude depois de meia-noite e torna-se máxima entre 7 h e 15 h. Algumas cidades apresentam valores para a vazão máxima que variam de 50% a 200% da vazão média. Na prática, têm-se adotado alguns coeficientes representativos da variação da vazão média – K_1 , K_2 e K_3 – expressos nas equações 3.1, 3.2, 3.3:

– Coeficiente do dia de maior consumo (K_1):

$$K_1 = (\text{consumo máximo diário})/(\text{consumo médio diário}) \quad (3.1)$$

– Coeficiente da hora de maior consumo (K_2):

$$K_2 = (\text{maior vazão horária observada em um dia})/(\text{vazão média horária no mesmo dia}) \quad (3.2)$$

– Coeficiente da hora de menor consumo (K_3):

$$K_3 = (\text{menor vazão observada em um dia})/(\text{vazão média horária no mesmo dia}) \quad (3.3)$$

Na falta de valores obtidos através de medição, a NBR 9649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986) recomenda o uso de $K_1 = 1,2$, $K_2 = 1,5$ e $K_3 = 0,5$. Esses valores são admitidos constantes ao longo do tempo, independentemente da população que habita a área. Assim, as vazões média,

máxima e mínima de água podem ser obtidas, respectivamente, pelas equações 3.4, 3.5 e 3.6 (SPERLING, 1996a).

$$Q_{\text{média}} = \text{pop} \times \text{QPC} \times R/86.400 \text{ (L/s)} \quad (3.4)$$

Em que:

$$Q_{\text{média}} = \text{vazão doméstica média de esgotos (L/s)}$$

$$\text{QPC} = \text{quota per capita de água (L/hab.dia)}$$

$$R = \text{coeficiente de retorno esgoto/água}$$

$$Q_{\text{máxima}} = Q_{\text{média}} \times K_1 \times K_2 = 1,8 Q_{\text{média}} \quad (3.5)$$

$$Q_{\text{mínima}} = Q_{\text{média}} \times K_3 = 0,5 Q_{\text{média}} \quad (3.6)$$

Segundo Sperling (2006a), a flutuação da variação horária da vazão de esgoto é amortecida ao longo da rede coletora. Quanto maior a rede ou a população atendida, menores serão as chances de as vazões de pico se superporem na entrada da estação. Assim, o tempo de residência na rede coletora tem grande influência no amortecimento dos picos de vazão.

As águas de chuva que se agregam ao esgoto sanitário proveniente de ligações clandestinas, poços de visitas e redes coletoras provocam grandes alterações nos hidrogramas típicos das ETEs.

3.1.3 Características qualitativas do esgoto sanitário

3.1.3.1 Características físicas

As principais características físicas dos esgotos domésticos são: matéria sólida, temperatura, cor, odor e turbidez. A cor e a turbidez são provocadas pela presença de sólidos dissolvidos, coloidais e em suspensão, respectivamente.

A concentração de sólidos presentes no esgoto afluente é de grande relevância em seu tratamento. As partículas apresentam-se em suspensão ou dissolvidas, são sedimentáveis ou não, orgânicas ou minerais. Quantificar e qualificar os sólidos presentes no esgoto é importante para o dimensionamento e controle das unidades de tratamento de esgoto, assim como para a avaliação da quantidade de material retido.

Os resíduos sólidos do tratamento de esgoto são constituídos por: material retido no gradeamento, material retido no desarenador, espuma e o lodo. Esse último é o principal subproduto, em razão dos maiores volumes e massas produzidas na ETE.

Os sólidos totais que compõem o esgoto, em média, não ultrapassam 0,09% da massa dos esgotos, dos quais 70% são constituídos de matéria orgânica e 30% de matéria inorgânica (JORDÃO; PESSOA, 2005). Eles podem ser definidos como a matéria que permanece na forma de resíduo após a evaporação a 103°C. Se esse resíduo é calcinado a 550°C, as substâncias orgânicas volatilizam-se e as minerais permanecem sob a forma de cinza, compondo, assim, a matéria sólida volátil e a matéria fixa. Nos exames do lodo de esgoto para saber sua estabilidade biológica e composição o conhecimento da fração de sólidos voláteis apresenta particular interesse nos exames do lodo do esgoto para se saber sua estabilidade biológica e composição orgânica.

Os sólidos totais classificam-se ainda em matéria em suspensão e dissolvida. Os sólidos em suspensão compõem a parte que é retida, quando um volume da amostra de esgoto é filtrada através de um filtro de tamanho especificado correspondente aos sólidos dissolvidos (SPERLING, 1996a). A fração que passa pelo filtro compõe a matéria sólida dissolvida e que está presente em solução ou sob

a forma coloidal. Define-se ainda como sólido sedimentável a fração das partículas em suspensão que sedimentam por ação da gravidade num recipiente apropriado de um litro (cone Imhoff), após o tempo de uma hora (JORDÃO; PESSOA, 2005). A quantidade de sólido sedimentável é uma indicação do volume de lodo que poderá ser removida por sedimentação nos decantadores. De acordo com Van Haandel e Lettinga (1994), é procedente esperar que, no esgoto bruto, aproximadamente um terço dos sólidos presentes sejam suspensos e sedimentáveis, um terço sejam suspensos mas não sedimentáveis, e um terço sejam dissolvidos.

Na Tabela 1 são apresentados valores de concentrações de sólidos típicas do esgoto sanitário e de duas ETEs estudadas no Rio de Janeiro.

Tabela 1 Características típicas de sólidos no esgoto bruto

MATERIA SÓLIDA	ESGOTO (mg/L)		
	FORTE	MÉDIO	FRACO
Sólidos totais	1.160	730	370
Sólidos suspensos totais	360	320	120
Sólidos suspensos voláteis	280	175	90
Sólidos suspensos fixos	80	55	30
Sólidos dissolvidos totais	800	500	250
Sólidos dissolvidos voláteis	300	200	105
Sólidos dissolvidos fixos	500	300	145
Sólidos sedimentáveis	20	10	5

Fonte: Adaptada de Jordão e Pessoa (2005)

Sperling (1996a) classifica como sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferior a 10^{-3} μm , como sólidos coloidais aqueles com diâmetro entre 10^{-3} μm e 10^0 μm e como sólidos em suspensão aqueles com diâmetro superior a 10^0 μm .

3.1.3.2 Características químicas

a) Matéria orgânica

Considerando que 70% dos sólidos presentes no esgoto doméstico são de origem orgânica, Clark e Morriss (1991) afirmam que as substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídas principalmente por:

- compostos de proteínas (40% a 60%);
- carboidratos (25% a 50%);
- gordura e óleos (8% a 12%);
- uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas, metais e outros (menor quantidade).

A concentração dos esgotos é indicada pela quantidade de matéria orgânica presente em um determinado despejo e é medida principalmente pela DBO_5 (demanda bioquímica de oxigênio aos cinco dias a 20°C), que é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica existente na água residuária, a qual pode ser oxidada pelas bactérias.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), além das determinações de DBO e das formas de nitrogênio, há outras que podem caracterizar a matéria orgânica, como:

- Oxigênio consumido (OC), não utilizados em termos práticos para esgoto;
- Oxigênio dissolvido (OD), utilizado praticamente para corpos d'água;
- Medição da fração de sólidos voláteis presente nos sólidos totais;
- Demanda química de oxigênio (DQO), muito utilizado em controle de operação de ETEs;
- Demanda total de oxigênio (DTO);

- Demanda teórica de oxigênio (DteO);
- Carbono orgânico total (COT).

Sperling (1996a) considera que a concentração média de DBO₅ dos esgotos domésticos seja da ordem de 300 mg/L e a concentração de DQO na ordem de 600 mg/L.

Em vários casos, a quantificação de poluentes deve ser apresentada em termos de carga. A carga é expressa em termos de massa por unidade de tempo, podendo ser calculado pela equação 3.7 (SPERLING, 1996a).

$$\text{Carga} = \text{concentração} \times \text{vazão} / 1.000 \quad (3.7)$$

Em que:

Carga (kg/dia)

Concentração (g/m³)

Vazão (m³/dia)

Valores de DBO do esgoto afluente e efluente da ETE–Anápolis (SANEAMENTO BÁSICO DE GOIÁS, 2005), são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Valores de DBO para o esgoto afluente da ETE–Anápolis (jun.–set. 2005)

MÊS¹	DBO AFLUENTE (mg/L)	DBO EFLUENTE (mg/L)	EFICIÊNCIA (%)
Junho	270,00	22,00	91,85
Julho	320,00	34,60	89,19
Agosto	290,00	68,00	76,55
Setembro	360,00	52,00	85,56
Outubro	344,5	61,45	82,16
MÉDIA	316,90	47,61	84,98

Fonte: Saneamento Básico de Goiás (2005)

¹ No laboratório da SANEAGO só foram encontrados valores relativos a esses meses.

b) Valores de pH

O pH representa a concentração de íons hidrogênio, dando uma indicação de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água natural ou esgoto (SPERLING, 1996a). Valores de pH altos ou baixos podem afetar o crescimento dos microrganismos e tornar impossível o tratamento biológico do esgoto. A presença de algas pode elevar os valores de pH, no caso de lagoas de estabilização, devido ao consumo de CO_2 .

c) Alcalinidade

Alcalinidade corresponde à medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos (capacidade de resistir às mudanças de pH: capacidade tampão). A alcalinidade é devida à presença de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos. Tem importância no tratamento de esgotos, pois a redução do pH pode afetar os microrganismos responsáveis pela depuração. O esgoto sanitário é geralmente alcalino, em razão da presença de materiais adicionados no trato doméstico (SPERLING, 1996a).

d) Acidez

Acidez é a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases (SPERLING, 1996a).

e) Dureza

A dureza representa a concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os cátions divalentes Ca^{2+}

e Mg^{2+} . A dureza tem pouca relevância no tratamento de esgoto sanitário (SPERLING, 1996a).

f) Ferro, manganês e cloretos

No tratamento de águas residuárias, deve ser observada a legislação sobre padrões de lançamento de elementos como ferro, manganês e cloretos (SPERLING, 1996a).

g) Nitrogênio

No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. No esgoto doméstico bruto, as formas predominantes são: o nitrogênio orgânico e a amônia (SPERLING, 1996a).

Segundo Sperling (1996a), a presença do nitrogênio no esgoto, em qualquer uma de suas diversas formas, é um dado importante, porque:

- certas doenças, como a meta-hemoglobinia, são associadas a algumas formas do nitrogênio;
- o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas;
- nos processos bioquímicos de conversão da amônia em nitrito e deste em nitrato, o nitrogênio implica o consumo de oxigênio dissolvido no meio, liberando H^+ e, possivelmente, reduzindo o pH;
- o nitrogênio é um elemento indispensável ao crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos;

- os processos de conversão do nitrogênio têm implicações na operação das estações de tratamento de esgotos;
- é necessário o balanço da relação C:N:P no esgoto para o desenvolvimento dos microrganismos.

h) Fósforo

O fósforo é indispensável ao crescimento de algas e outros microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. As algas, cuja presença é fundamental para o bom desempenho de uma lagoa facultativa, quando atinge concentrações muito elevadas em lagoas e em represas, podem conduzir a um fenômeno denominado eutrofização.

i) Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro para se avaliar o efeito do lançamento de matéria orgânica em um corpo receptor. O oxigênio é essencial para a respiração de microrganismos aeróbios.

j) Cloretos

Os cloretos (Cl^-) advêm da dissolução de sais (ex. cloreto de sódio). São provenientes da água de abastecimento e dos despejos humanos.

I) Sulfatos

O íon sulfato é um dos principais ânions presentes em águas naturais. Em ambiente anaeróbio, os sulfatos geram sulfetos, que são responsáveis por problemas de corrosão, pela emissão de odor desagradável e, conforme a concentração, podem inibir determinados processos biológicos, como a metanogênese.

3.1.3.3 Características biológicas

Bactérias, vírus, protozoários e helmintos, transmissores de doenças, são microrganismos típicos, presentes nos intestinos do homem e dos animais. Muitos desses organismos patogênicos, depois de excretados com as fezes, podem sobreviver no meio ambiente (água, lodo, esgoto, solo) e até mesmo multiplicar-se. Alguns deles podem ainda voltar ao organismo humano ou animal, penetrando através do sistema respiratório ou de escoriações na pele.

As bactérias são os microrganismos mais importantes numa ETE, por serem as principais responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica. Silva e Mara (1979) avaliam que, do ponto de vista do tratamento de águas residuárias, as bactérias podem ser consideradas em si mesmas como minúsculos e automáticos reatores químicos.

Para se indicar a poluição de origem humana e para medir a magnitude dessa contribuição, costuma-se adotar como indicadores os microrganismos do grupo coliforme. As bactérias coliformes são típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue quente. E, justamente por estarem sempre presentes no excremento humano em concentração elevada (100 a 400 bilhões de

coliformes/hab.dia) e serem de fácil isolamento e quantificação simples, são adotadas como referência na determinação da grandeza da poluição.

A medida dos coliformes é dada por uma estimativa estatística de sua concentração, conhecida como número mais provável de coliformes (NMP/mL ou NMP/100 mL), determinada por meio de técnicas de laboratório apropriadas. Jordão e Pessoa (2005) consideram que o esgoto bruto contém cerca de 10^6 a 10^9 NMP/100 mL de coliformes totais, e de 10^5 a 10^8 NMP/100 mL de coliformes fecais.

Do ponto de vista do controle de microrganismos, Mendonça (1990) considera que o controle bacteriológico é fundamental na avaliação da eficiência de uma ETE. Com os resultados da remoção desses organismos patogênicos, pode-se analisar o perigo potencial associado com a descarga de efluentes no corpo receptor, quando se deseja avaliar a possibilidade de reuso de efluentes para irrigação, dessedentação de gado e aqüicultura.

A presença de microrganismos implica riscos de saúde para o pessoal que trabalha no campo, para o que manuseia os alimentos e para o consumidor final. São numerosas as doenças que seguem a via oral-fecal provocadas por microrganismos que, em muitas situações, podem levar o paciente a óbito. São famosas as epidemias de febre tifóide e cólera na história da humanidade.

Os helmintos ou vermes que parasitam o intestino humano apresentam morfologias variadas e ciclos complexos de reprodução. A transmissão de doenças por helmintos ocorre por meio de diversas matérias contaminadas com ovos ou larvas eliminados com as fezes de doentes. Mendonça (1990) relata que os ovos podem sobreviver por tempo bastante prolongado (até vários meses ou anos) em diferentes ambientes, especialmente em solos úmidos e com temperaturas médias de 28°C. Como exemplo do ciclo de vida dos helmintos, pode-se citar o ciclo do

Ascaris lumbricoides: homem–solo–homem. Alimentos contaminados são ingeridos e passam pelo aparelho digestivo. Os ovos maduros são eliminados nas fezes. Esses ovos amadurecem no solo em uma ou duas semanas, originando as formas embrionárias infecciosas. O ovo embrionário permanece viável por meses e até anos em alimentos contaminados, solo e água.

Em caso de reuso do esgoto tratado na agricultura, na avaliação do risco de contaminação, é importante comparar o tempo de sobrevivência do patógeno com a duração do ciclo de crescimento do vegetal. König (2001) afirma que há um risco real quando o tempo de sobrevivência superar o tempo de crescimento e de colheita da planta.

A simples presença, nos esgotos, de patógenos que contaminam a água ou o solo, não implica a imediata transmissão ou a infecção de novos indivíduos. Resultados de diversas pesquisas sugerem como parâmetro para reuso irrestrito as recomendações da World Health Organization (1973), assim definidas: número de coliformes termotolerantes menor ou igual a 10^3 por 100 mL e menor ou igual a 1 ovo viável de helminto perfeitamente alcançada (lombricóides). Essa concentração é alcançada após tratamento dos esgotos em lagoas de estabilização com tempos de detenção hidráulica entre 10 e 25 dias (KONIG, 2001). As lagoas de estabilização, devido ao grande tempo de detenção do esgoto nos reatores, propiciam a decantação da maioria dos ovos de helmintos e a destruição dos cistos de protozoários. Ainda segundo a mesma autora, o longo tempo de detenção em lagoas de estabilização favorece também a ação sinérgica do conjunto de fatores bactericidas e virucidas (pH elevado, toxidez do oxigênio, toxinas das algas, luz solar etc.).

As algas são muito importantes nos processos de tratamento de esgoto, quando se adotam como sistema de tratamento lagoas de estabilização do tipo facultativa, pois produzem oxigênio por meio da fotossíntese. No entanto, em lagos e represas, podem proliferar em excesso, causando deterioração da qualidade da água.

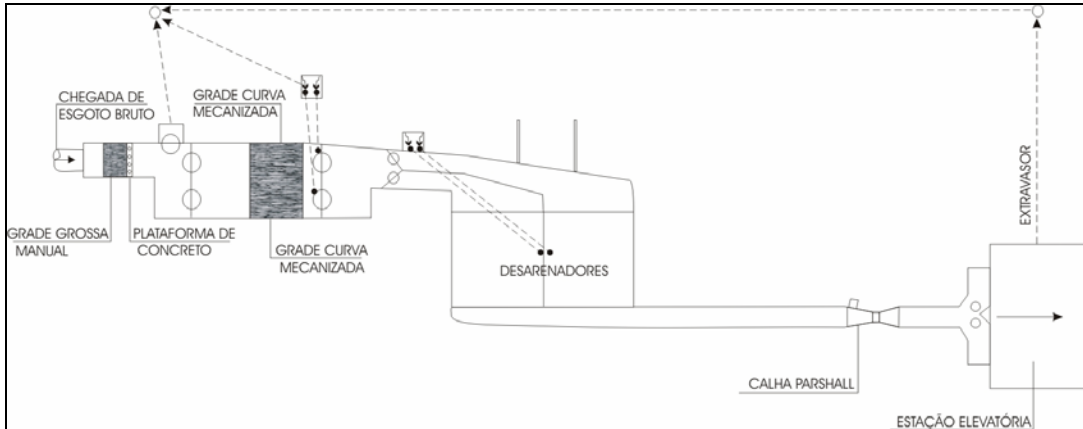
3.2 A ETE–Anápolis

3.2.1 Arranjo da ETE–Anápolis

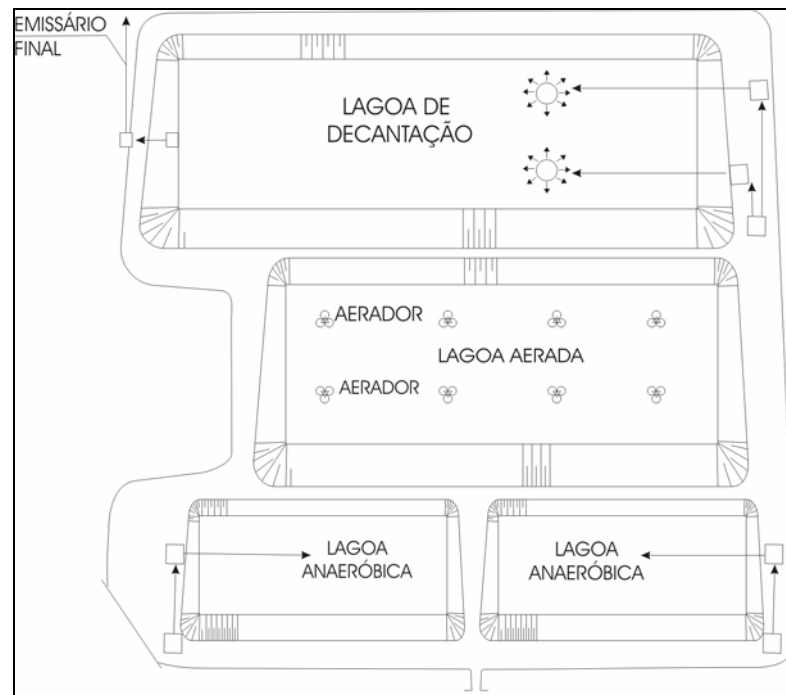
O sistema de tratamento preliminar da ETE–Anápolis é constituído de grade grosseira, grade fina mecanizada circular e desarenador do tipo detritador. O tratamento biológico é constituído por dois módulos idênticos de lagoas de estabilização. Cada módulo é composto primeiramente por duas lagoas anaeróbias, que operam em paralelo, e cujos efluentes vão inicialmente para uma lagoa aerada, a seguir para uma lagoa de decantação, sendo o efluente final lançado no córrego das Antas. O esquema completo da ETE–Anápolis encontra-se ilustrado na Fotografia 1 e nos Esquemas 1 e 2.



Fotografia 1 Vista aérea da ETE–Anápolis



Esquema 1 Tratamento preliminar da ETE–Anápolis



Esquema 2 Tratamento biológico da ETE–Anápolis em módulos

No Quadro 4 estão relacionadas as principais características operacionais do tratamento preliminar da ETE–Anápolis.

A Fotografia 2 mostra a grade grosseira da ETE–Anápolis. O sistema de grades finas foi concebido para limpeza mecanizada, mas apenas uma das partes

funciona como tal. Nas demais, o procedimento é manual, em virtude de defeitos apresentados nos equipamentos. As Fotografias 3 e 4 mostram as grades finas e o desarenador em operação.

Quadro 4 Características do tratamento preliminar da ETE–Anápolis

CARACTERÍSTICA	OPERAÇÃO FÍSICA DA UNIDADE DE TRATAMENTO		
	GRADE GROSSEIRA	GRADE FINA	DESARENADOR
Tipo de limpeza	Manual	Mecânica	Mecânica
Largura (m)	2,0	2,0	Diâmetro - 6,70
Abertura entre barras (mm)	100	20	-
Inclinação da grade	60° com a horizontal	-	-
Número de barras	16	71	-
Quantidade	1	2	2

Fonte: Sigma Engenharia de Projetos Ltda. (1985)

A ETE–Anápolis é dotada de um sensor ultrassônico, sobre a calha Parshall, para se fazer a leitura de vazão afluyente (Fotografia 5). Os operadores revezam-se diuturnamente, fazem leitura de hora em hora e transcrevem os resultados em relatório padrão da SANEAGO.

No Quadro 5 estão anotadas as principais características das lagoas de estabilização que integram o sistema.



Fotografia 2 Vista da grade grosseira da ETE–Anápolis



Fotografia 3 Vista da grade fina da ETE–Anápolis



Fotografia 4 Vista do desarenador da ETE–Anápolis



Fotografia 5 Vista do medidor de vazão da ETE–Anápolis (Calha Parlhall, $W = 4$ pés)

Quadro 5 Dimensões das lagoas de estabilização da ETE–Anápolis

PARÂMETRO	TIPO DE LAGOA		
	ANAERÓBIA	AERADA	DECANTAÇÃO
Comprimento (fundo) (m)	140,00	236,50	291,25
Comprimento (nível d'água) (m)	160,00	251,50	308,75
Largura (fundo) (m)	65,00	114,50	91,25
Largura (nível d'água) (m)	85,00	129,50	108,75
Profundidade útil (m)	4,00	3,00	2,00
Área superficial (m ²)	13.600,00	32.569,25	33.576,56
Volume útil (m ³)	45.000,00	89.304,00	105.000
Quantidade	4	2	2
Tempo detenção hidráulica (dia)	3	3	2

Fonte: Sigma Engenharia de Projetos Ltda. (1985)

Em cada lagoa aerada estão instalados 8 aeradores com capacidade de potência individual (instalada) de 30 CV.

3.2.2 Parâmetros adotados no projeto da ETE–Anápolis

Entre 1950 e 1970, a população urbana de Anápolis quadruplicou. A partir da década de 1970, a estrutura urbana da cidade modificou-se rapidamente, sem o ordenamento necessário. Esse processo de expansão urbana acelerada gerou vários problemas de infra-estrutura, típicos de tal fenômeno. Hoje, no entanto, o ritmo de crescimento da população urbana arrefeceu-se, a exemplo do que ocorre nas demais cidades do território nacional.

O projeto da ETE–Anápolis foi elaborado em 1987 pela consultora Sigma Engenharia de Projetos Ltda. Todos os modelos matemáticos para cálculo da população de projeto foram concebidos com base nos dados históricos relativos aos censos demográficos de 1940 a 1980. Nos dados apresentados na Tabela 3 encontram-se as estimativas das vazões de projeto, cujo alcance foi estabelecido até o ano de 2004.

Os dados relativos ao crescimento da população de Anápolis (1991-2005), período de funcionamento da ETE–Anápolis, disponíveis no IBGE (2005), demonstram crescimento médio de 2,224% ao ano. Esses valores podem ser conferidos na Tabela 4.

A ETE–Anápolis começou a funcionar no final de 1989. O número de economias atendidas pelo sistema de coleta e tratamento de esgoto em Anápolis, assim como a população beneficiada no período de funcionamento da ETE (1989 a 2005), são apresentados na Tabela 5. Os dados da Tabela 5 mostram que a contribuição de esgoto para a ETE teve um acréscimo significativo desde o início do funcionamento até o ano de 1997. Evidenciam, ainda, que, nos últimos dez anos, o crescimento foi pouco acentuado. Isso se deve a que não houve obras de expansão do sistema de rede coletora durante esse período. O sistema tem hoje 493.870 m de rede coletora de esgoto (SANEAMENTO BÁSICO DE GOIÁS, 2005). No projeto da ETE–Anápolis, foi estabelecido que, a partir do ano de 2004, haveria necessidade de construção do terceiro módulo.

Os parâmetros utilizados no projeto da ETE–Anápolis encontram-se resumidos no Quadro 6.

Tabela 3 Estimativa de população e de vazão de esgoto no projeto da ETE–Anápolis

ANO	POPULAÇÃO	POPULAÇÃO	NÍVEL DE	VAZÃO	VAZÃO DE	VAZÃO	VAZÃO TOTAL (L/s)		
	TOTAL (n. hab.)	ATENDIDA (n. hab.)	ATENDIMENTO (%)	MÉDIA (L/s)	INFILTRAÇÃO (L/s)	INDUSTRIAL (L/s)	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA
1988	288.233	152.940	54,6	283,22	258,23	40,68	440,52	582,13	808,71
1989	292.227	161.289	55,2	298,68	272,49	40,68	462,51	611,85	858,79
1990	304.374	169.910	55,8	314,65	287,04	40,68	485,05	642,37	894,09
1991	316.538	178.792	56,5	331,10	301,83	40,68	508,06	673,61	938,49
1992	328.681	187.925	57,2	348,01	316,82	40,68	531,50	705,51	983,92
1993	348.767	197.292	57,9	365,36	331,95	40,68	555,31	737,99	1.038,28
1994	352.758	206.877	58,7	377,86	347,17	40,68	576,78	765,71	1.068,00
1995	364.619	216.662	59,4	401,23	362,42	40,68	603,72	804,33	1.125,31
1996	376.316	226.626	60,2	419,68	377,64	40,68	628,16	838,00	1.173,74
1997	387.819	236.746	61,1	438,42	392,79	40,68	652,68	871,89	1.222,63
1998	399.896	246.999	61,2	457,41	407,80	40,68	677,19	985,89	1.271,82
1999	418.128	257.359	62,3	476,59	422,63	40,68	701,61	939,98	1.321,17
2000	428.864	267.800	63,3	495,93	437,22	40,68	725,87	973,83	1.370,57
2001	431.318	278.296	64,5	515,36	451,53	40,68	749,89	1.007,57	1.419,86
2002	441.451	288.819	65,4	534,85	456,52	40,68	773,63	1.041,05	1.468,93
2003	451.251	299.337	66,3	554,33	479,14	40,68	796,99	1.074,15	1.517,61
2004	460.707	309.827	67,3	573,75	492,36	40,68	819,92	1.106,79	1.565,79
Saturação	619.613	576.248	93,8	1.067,11	712,01	40,68	1.288,25	1.819,88	2.673,49

Tabela 4 População de Anápolis 1991–2005

ANO ¹	POPULAÇÃO (n. hab.)		
	URBANA	RURAL	TOTAL
1991	226.602	12.776	239.378
1992	231.701 ¹		
1993	236.914 ¹		
1994	242.244 ¹		
1995	247.695 ¹		
1996	253.268 ¹		264.975
1997	258.967 ¹		
1998	264.793 ¹		282.197
1999	270.751 ¹		298.155
2000	277.200	6.195	283.395
2001	283.437 ¹		288.814
2002	289.814 ¹		293.475
2004	296.335 ¹		307.977
2005	303.003 ¹		313.412

Fonte: IBGE (2005)

¹Dados calculados com o índice de 2,224%.

Tabela 5 População servida com tratamento e coleta de esgoto em Anápolis no período de funcionamento da ETE

ANO	ECONOMIAS (n.)	POPULAÇÃO SERVIDA (hab.) ¹
1989	14.706	51.765
1990	23.890	84.093
1991	27.261	95.959
1992	30.635	107.835
1993	31.606	111.253
1994	32.226	113.435
1995	33.620	118.342
1996	37.863	133.278
1997	43.545	153.278
1998	44.096	155.218
1999	44.996	158.385
2000	45.612	160.554
2001	46.079	162.198
2002	47.697	167.893
2003	48.267	169.900
2004	48.160	169.523

Fonte: Saneamento Básico de Goiás (2005)

¹ População calculada com base no índice de habitantes por economia do IBGE – 3,52.

Quadro 6 Principais parâmetros de projeto da ETE–Anápolis

PARÂMETRO	VALOR
Coeficiente do dia de maior contribuição (k_1)	1,2
Coeficiente da hora de maior contribuição (k_2)	1,5
Coeficiente da hora de menor contribuição (k_3)	0,5
Coeficiente de retorno esgoto/água (C)	0,8
Consumo <i>per capita</i> de água	200 L/hab.dia
Taxa de infiltração	0,0005 L/s.m de rede
Alcance de projeto	16 anos
Contribuição <i>per capita</i> de DBO	54 g DBO/hab x dia
Carga orgânica	13.835 kg DBO/dia

Fonte: Sigma Engenharia de Projetos Ltda. (1985)

3.3 Operações físicas envolvidas no tratamento preliminar do esgoto sanitário

3.3.1 Gradeamento

Gradeamento é a operação em que o material flutuante e a matéria em suspensão maior em tamanho do que as aberturas das grades são retidos e removidos. As grades de barras destinam-se a reter sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes, e constituem a primeira unidade de uma ETE. As grades são utilizadas para proteger tubulações, válvulas, registros, bombas e equipamentos de tratamento contra obstruções.

De acordo com a EB 2185 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991), as grades podem ser classificadas em:

- grade fina: de 10 mm a 20 mm
- grade média: de 20 mm a 40 mm
- grade grosseira: de 40 mm a 100 mm

De uma maneira geral, as grades são constituídas de barras de ferro ou aço, dispostas paralelamente, em posição perpendicular ou inclinada, de modo a permitir o fluxo normal dos esgotos e reter o material grosseiro transportado sem grandes perdas de carga. As grades inclinadas têm mostrado melhor rendimento do que as grades verticais, pois a inclinação evita que o material desprenda-se facilmente do ancinho e retorne à canalização. O espaçamento entre as barras é determinado em função dos resíduos que se deseja reter e, em regra, adotam-se inclinações de 45° ou 60° com a horizontal, para grades finas, e de 30° ou 45°, para grades grosseiras (JORDÃO; PESSOA, 2005).

3.3.1.1 Quantidade de material retido no gradeamento

A quantidade de material gradeado sofre a influência das condições locais, dos hábitos da população, da época do ano etc., e depende muito da abertura da grade especificada. Clark e Morriss (1991) afirmam, ainda, que há um aumento considerável de material retido nos períodos de intensas precipitações.

Os dados apresentados na Tabela 6 mostram a variação do volume de material retido em relação aos espaçamentos entre barras, mostrando que menores espaçamentos entre barras representam maiores volumes retidos.

Há uma variação de valores citados por diversos autores quanto ao volume de material retido nas grades, como pode ser observado no Quadro 7.

No Apêndice A, são apresentados dados relativos a material retido nas grades e nos desarenadores em várias cidades do Brasil. Pode-se observar em resultados da ETE Hélio de Brito, de Goiânia, que o volume tratado de esgoto é majorado nos meses de chuva; dezembro, janeiro, fevereiro e março e o quantitativo

de material retido nas grades também aumenta no mesmo período (Tabela 42, Apêndice A).

Tabela 6 Quantidade de material retido nas grades conforme a abertura entre barras

ESPAÇAMENTO (cm)	QUANTIDADE DE MATERIAL RETIDO (L/m ³)	
	Fonte ¹	Fonte ²
1,0	-	0,058
2,0	0,038	0,029
2,5	0,023	0,020
3,5	0,012	-
4,0	0,009	0,009
5,0	-	0,006
6,0	-	0,005

Fonte: ¹ Schroeffer (apud AZEVEDO NETTO et al., 1977, p. 266)

² Tsutiya et al. (apud TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999)

Quadro 7 Volume de material retido nas grades segundo várias fontes

TAXA DE MATERIAL RETIDO ¹		TIPO DE GRADE	FONTE
L/m ³	L/hab.ano		
0,040	-	-	Jordão e Pessoa (2005)
-	5 a 15	fina	Imhoff e Imhoff (1996)
-	5 a 15	grosseira	Imhoff e Imhoff (1996)
0,01 a 0,025	-	média	Azevedo Netto et al. (1977)
0,0375 a 0,225	-	-	Clark e Morriss (1991)

¹ Volume de material retido por volume de esgoto tratado.

Na Tabela 7, estão resumidos, na forma de valores médios, os dados relativos ao volume de material retido no tratamento preliminar dos esgotos de diversas cidades brasileiras, apresentados de modo completo no Apêndice A.

Tabela 7 Média dos volumes de material retido nas grades em cidades do Brasil (2005)

CIDADE	ETEs AVALIADAS (n.)	ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS (cm)		VOLUME DE MATERIAL GRADEADO/ VOLUME TRATADO (L/m ³)	DESTINO DADO AO MATERIAL
		GRADE GROSSA	GRADE FINA		
Belo Horizonte	5	NE	2,0	0,005	Aterro sanitário
Belo Horizonte	1	10,0	1,5	0,005	Aterro sanitário
Brasília	4	5,0	1,5	0,013	Aterro sanitário
Brasília	5	5,0	0,5	0,033	Aterro sanitário
Curitiba	1	NE	2,0	0,028	Aterro sanitário
Goiânia	1	7,5	1,3	0,005	Aterro sanitário
Palmas	4	NE	2,0	0,018	Vala sanitária no local da ETE
S.Paulo	4	10,0	1,0	0,002	Aterro sanitário
Uberlândia	1	10,0	1,0	0,018	Aterro sanitário

NE – não existente.

Nota: Todos os dados em que se baseiam as médias, bem como os que são apresentados extensivamente no Apêndice A, foram obtidos das Empresas de Saneamento Básico.

3.3.1.2 Natureza do material retido nas grades

O material que chega à ETE e é retido nas grades apresenta variação significativa. Inclui desde utensílios domésticos até animais mortos. Entre os materiais mais comuns encontrados, encontram-se: papel, estopa, trapos, detritos vegetais, pedaços de madeira, rolhas, latas, materiais plásticos, escovas etc. São ainda escassas, na literatura, experiências de análise desse tipo. O percentual

gravimétrico do material gradeado para algumas ETEs do estado de São Paulo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Composição gravimétrica do material retido nas grades de ETEs do Estado de São Paulo

ARTIGO	MATERIAL RETIDO NA GRADE (%)
Papéis	10 a 70
Estopa	10 a 20
Trapos e panos	5 a 15
Para essas três parcelas	40 a 80 (média: 60)
Materiais diversos	20 a 60 (média: 40)

Fonte: Azevedo Netto et al. (1977)

Clark e Morriss (1991) consideram que grande parte do material retido nas grades é orgânico (80% a 90%), que a quantidade de sólidos secos encontrados no material retido varia de 15% a 25% e, ainda, que as características do material retido dependem do tipo de espaçamento entre as barras e do tipo de sistema de esgotos adotado (separador absoluto, condominial, unitário), além da localização geográfica.

3.3.1.3 Limpeza das grades

Jordão e Pessoa (2005) sugerem que, o material retido nas grades, deve ser removido tão rapidamente, quanto possível, de modo a evitar que a perda de carga localizada aumente, progressivamente, causando o represamento dos esgotos no canal a montante e aumente demasiadamente a velocidade do líquido entre as barras, arrastando alguns materiais que se pretenda reter. O material removido deverá ser imediatamente encaminhado ao seu destino final, de modo a evitar inconvenientes nas instalações de tratamento.

O material removido deve receber operações de acondicionamento e higienização, a fim de facilitar seu manejo, e ser encaminhado para locais adequados conforme estabelece a legislação ambiental pertinente. Em algumas ETEs, como a de Anápolis, o material é enterrado em terreno próximo às grades, na área da ETE. Na Tabela 7, são apresentados, sinteticamente, diversos destinos aplicados ao material retido nas grades em várias ETEs do País.

Azevedo Netto et al. (1977) recomendam que, nas pequenas instalações a limpeza seja feita por rastelos manuais e que o material retirado seja enterrado ou incinerado. Em instalações grandes, os detritos devem ser removidos mecanicamente, incinerados, digeridos ou triturados. Em último caso, devem ser devolvidos aos esgotos. Para evitar o problema do mau cheiro, o material, quando enterrado, deve ser recoberto com uma camada de terra de pelo menos, 0,30 m.

Pelo Decreto n. 1.745 (GOIÁS, 1979), a Agência Goiana do Meio Ambiente estabeleceu a proibição de “depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar, ou acumular, no solo, resíduos em qualquer estado de matéria, desde que sejam poluentes”.

3.3.2 Caixas de areia

3.3.2.1 Conceito, funcionamento e finalidades das caixas de areia

As caixas de areia ou desarenadores são unidades destinadas a reter areia e os detritos minerais inertes e pesados presentes nos esgotos. Geralmente, ficam localizadas entre as grades e o decantador primário ou as lagoas de estabilização, como acontece na ETE de Anápolis.

Designa-se genericamente como “areia” todo o material mineral pesado contido nos esgotos, tais como: pedriscos, silte, escórias, cascalhos e areia (fragmentos/partículas de rocha/rocha decomposta). Esse material arenoso contém também uma reduzida quantidade de material orgânico putrescível, inclusive vegetal, como: grãos de café, grãos de feijão, milho, frutas e verduras. Também aparecem cascas de ovos e pedaços de ossos e penas de aves. É comum a presença de pêlos, cabelos, plásticos e fibras. Esse material é oriundo das atividades domésticas, das águas provenientes do lançamento inadequado nas instalações de esgotamento sanitário, das ligações clandestinas de águas pluviais, de lavagem de pisos, de despejos industriais ou comerciais e infiltrações na rede coletora.

A remoção de areia dos esgotos tem por finalidade eliminar o material inorgânico não putrescível, que se caracteriza por constituir-se de partículas que não floculam, de tamanho em geral superior a 0,2 mm, e por uma velocidade de sedimentação maior que a das partículas orgânicas, em geral de 0,02 m/s (AZEVEDO NETTO et al., 1977).

A remoção de areia objetiva:

- evitar abrasão nos equipamento e nas tubulações;
- eliminar ou reduzir a possibilidade de obstruções nas unidades dos sistemas, tais como tubulações, tanques, orifícios, sifões etc;
- facilitar o transporte líquido do sistema, principalmente a transferência de lodos, em suas diversas fases. Essa operação facilita o tratamento subsequente dos esgotos.

Segundo Clark e Morriss (1991), a umidade da areia pode variar de 13% a 65% e o material volátil de 1% a 56%. O peso específico da areia pode variar de 1.300 kg/m³ a 2.700 kg/m³, sendo comum usar o valor de 1.600 kg/m³.

3.3.2.2 Princípio e funcionamento das caixas de areia

Azevedo Netto et al. (1977) observam que as condições hidrodinâmicas de uma corrente líquida, notadamente a turbulência, são responsáveis pelo transporte de partículas sólidas mais densas do que a água. Essas partículas são conduzidas em suspensão ou são arrastadas por tração junto ao fundo dos canais ou das canalizações.

Em canais ou tanques apropriados, reduz-se a velocidade de escoamento das águas a valores que permitam a deposição das partículas. A velocidade de sedimentação é função do diâmetro das partículas, como evidencia a Tabela 9.

Tabela 9 Velocidade de sedimentação em função do tamanho da partícula

TAMANHO DAS PARTÍCULAS (mm)	VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO (cm/s)¹
0,3	4,3
0,2	2,4
0,1	0,9

Fonte: Azevedo Netto et al. (1977)

¹ Valores para grãos de areia de peso específico 2,65 g/ml a 20°C em água tranqüila.

A NB 570 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990) recomenda que, no caso de desarenador do tipo canal, a velocidade de escoamento

para a vazão média seja igual a 0,30 m/s, não sendo superior a 0,40 m/s para a vazão máxima.

Se o material removido tem o tamanho e a velocidade de sedimentação de acordo a referência citadas anteriormente, a caixa de areia funciona com eficiência. Portanto, para controle de operação, deve-se medir:

- a quantidade de matéria sólida removida por unidade de volume de esgoto tratado;
- a percentagem de sólidos voláteis presentes na matéria sólida removida;
- o teor de umidade;
- a granulometria da areia removida, no caso de estações de grande porte.

A vazão numa ETE varia continuamente, alterando-se em consequência, a altura da lâmina de água no canal da caixa de areia. Para se manter a velocidade dentro dos limites desejáveis, projeta-se a caixa de areia com seção adequada (prismática, trapezoidal) e, a jusante, constrói-se um dispositivo capaz de manter a velocidade com pequenas variações.

3.3.2.3 Deposição de material orgânico nas caixas de areia

O tratamento preliminar em uma ETE é previsto com a finalidade de reter sólidos grosseiros e areia. O material orgânico deve ser encaminhado às fases seguintes, unidades de tratamento biológico que terão como principal finalidade a sua remoção. A presença de material orgânico nas caixas de areia resulta na retenção de um material ainda instável para efeito de disposição no meio ambiente.

A deposição das partículas minerais pesadas deve-se à velocidade de sedimentação. Por isso, é impossível evitar a presença de certa quantidade de material orgânico nas caixas de areia.

A condição mais desfavorável para se remover partículas de areia é a da superfície das águas, por estarem mais afastadas do fundo das caixas. A unidade para remoção da areia é projetada com dimensões que correspondem ao tempo necessário para essas partículas se depositarem, mantendo-se ainda uma certa folga. Porém, em pontos mais baixos da lâmina líquida também são transportadas partículas de material orgânico.

3.3.2.4 Quantidade de material retido nas caixas de areia

A quantidade de material retido nas caixas de areia é função dos costumes locais, do sistema de retenção desse material e do tipo de sistema utilizado na rede coletora de esgoto sanitário. Conforme explica Azevedo Netto et al. (1977), a quantidade de material removido pelas caixas de areia depende do sistema de esgotos (unitário ou separador), do tipo de área servida (industrial, residencial, pavimentada ou não), do tipo de coleta e transporte do esgoto e de outros fatores.

Na remoção de areia acumulada na caixa, quando não é possível remover areia por carga hidráulica, deve-se observar que a canaleta onde se acumula areia, tenha, pelo menos, o espaço suficiente para arrastar a areia por meio de pás, enxadas ou outros tipos de ferramentas (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Na Tabela 10 estão apresentados valores referentes a quantidade de areia retida em diversas ETEs do país e no Apêndice A (Tabela 42), estão expostas as quantidades de areia retida nos desarenadores da ETE Hélio de Brito de Goiânia.

Os valores apresentados pela SANEAGO estão expressos em kg/mês; para transformá-los em volume retido, foi utilizada, para peso específico da areia, a referência de 1.300 kg/m³. Os dados apresentados na Tabela 10 mostram valores bem diferentes para as ETEs de Brasília e Curitiba em relação às demais ETEs de outras cidades.

Tabela 10 Média dos volumes de material retido nos desarenadores em cidades do Brasil (2005)

CIDADE	ETEs AVALIADAS (n.)	TIPO DE CAIXA DE AREIA	VOLUME DE AREIA/VOLUME DE ESGOTO (L/ 1.000 m ³)	DESTINO DADO AO MATERIAL
Belo Horizonte	6	NI	20	Aterro sanitário
Brasília	14	Gravidade (natural)	117	Aterro sanitário
Curitiba	1	NI	147	Aterro sanitário
Goiânia	1	Aerada	19	Aterro sanitário
Palmas	4	NI	N.I	Vala sanitária no local da ETE
S.Paulo	4	Aerada	22	Aterro sanitário
Uberlândia	1	NI	15	Aterro sanitário

NI – Não informado.

Nota: Os dados foram obtidos das respectivas Empresas de Saneamento Básico.

Ainda conforme Azevedo Netto et al. (1977), nos meses de elevada precipitação atmosférica, são maiores os volumes de areia retida, podendo-se admitir, com segurança, de 30 L a 40 L por 1.000 m³ de águas de esgotos. A Tabela 11 apresenta valores referentes à quantidade de material retirado das caixas de areia segundo várias fontes.

Tabela 11 Remoção de areia segundo várias referências de literatura

FONTE	NACIONALIDADE DO AUTOR	FAIXA ($10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$)		VALORES MÉDIOS ($10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$)
		MÍNIMA	MÁXIMA	
Mara	Escocesa	-	17	5 a 10
Clark e Morriss	Americana	0,03	18	-
Imhoff e Imhoff	Alemã	6,8	16	-
Degrémont ¹	Francesa	1,3	16	-
Azevedo Hess	Brasileira	1,3	4	1,5 a 2,9
ETE Pinheiros ²	Brasileira	-	7,3	4,1
ETE V. Leopoldina ²	Brasileira	-	2,2	1,2
Marais	-	-	-	7,5
Van Haandel e Lettinga	-	-	-	7,5

Fonte: Adaptada de Jordão e Pessoa (2005)

¹ Valores transformados com base em 200 L/hab.dia.

² Valores reais medidos entre janeiro/76 a março/77.

A Tabela 12 apresenta valores referentes à remoção de areia medidos nas ETEs Pinheiros e Vila Leopoldina, em São Paulo, durante 15 meses consecutivos.

Tabela 12 Remoção de areia nas ETEs de Pinheiros e Vila Leopoldina

MÊS	QUANTIDADE DE AREIA REMOVIDA ($\text{m}^3/\text{m}^3 \times 10^{-5}$)	
	ETE Pinheiros	ETE Vila Leopoldina
Janeiro/1976	3,40	0,49
Fevereiro	2,82	0,29
Março	1,32	1,52
Abril	2,30	1,39
Maio	2,16	0,77
Junho	3,18	1,12
Julho	4,99	0,85
Agosto	7,32	2,17
Setembro	5,28	2,03
Outubro	4,89	1,67
Novembro	3,56	1,34
Dezembro	5,67	1,04
Janeiro/1977	3,95	0,70
Fevereiro	3,18	1,92
Março	7,10	1,31
Extremos	1,32 x 7,32	0,29 x 2,17
Média	4,07	1,24

Fonte: Adaptada de Jordão e Pessoa (2005)

Segundo Jordão e Pessoa (2005) a caixa de areia funcionará bem se o valor do material removido tiver os seguintes resultados:

- O valor médio do volume de areia removida-VA em função do volume de esgoto tratado-VE (VA/VE) deve estar compreendido entre 2/100.000 a 4/100.000, ou seja, 0,002 m³ a 0,004 m³ de areia por 1.000 m³ de esgoto tratado;

- quantidade de areia com valores acima de 15/100.000 indica prováveis infiltrações excessivas na rede de esgoto contribuinte ou outros fatores irregulares influentes ao longo da rede, tais como: avarias, ligações clandestinas de esgotos pluviais e industriais;

- valores abaixo de 1/100.000 indicam prováveis falhas de projeto ou operação inadequada ou outros fatores influentes;

- o limite tolerado para teor de sólidos voláteis é de 30%; valores acima desse limite indicam excesso de lodo sedimentado devido a problemas operacionais ou falha de projeto;

- o teor de umidade deve estar compreendido entre 30% e 20% e o peso específico da areia removida deve estar entre 1.400 kg/m³ a 1.700 kg/m³.

Os valores observados nas Tabelas 10, 11 e 12 indicam uma variação de $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$ a $56,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$. Provavelmente, os valores acima de $4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$ levantados neste trabalho e apresentados na Tabela 10 para os sistemas de Brasília e Curitiba, indiquem infiltrações excessivas e ligações clandestinas de águas pluviais no sistema coletor de esgoto sanitário.

3.3.2.5 Disposição final da areia

Segundo Clark e Morriss (1991), em algumas ETEs a areia é incinerada com o lodo, mas, na maioria dos casos, é levada para o aterro sanitário. Toda disposição deve ser feita em conformidade com a regulamentação ambiental. Várias práticas realizadas no Brasil podem ser observadas na Tabela 10.

3.4 Lagoas de estabilização

3.4.1 Definição e vantagens das lagoas de estabilização

Lagoas de estabilização são bacias rasas com paredes de terra nas quais águas residuárias são tratadas mediante processos biológicos que se desenvolvem espontaneamente (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

As lagoas de estabilização constituem o mais simples método de tratamento de esgotos que existe e que mais se aproxima do ambiente natural. Sistemas de Lagoas de Estabilização têm como principal objetivo a transformação da matéria orgânica em produtos mineralizados, utilizando processos de tratamento baseados no metabolismo dos microrganismos.

Vantagens das lagoas de estabilização:

- consomem pouca ou nenhuma energia no processo;
- não necessitam de aparelhos eletromecânicos, apenas as lagoas aeradas precisam de aeradores;
- oferecem facilidade na operação;
- produzem pouco lodo;
- propiciam más condições de sobrevivência para os microrganismos.

3.4.2 Principais tipos de lagoas de estabilização

a) Lagoas anaeróbias

O processo de tratamento de esgotos por meio de lagoas anaeróbias consiste na utilização de diques naturais para estabilização da matéria orgânica, nos quais a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial. Nesse tipo de lagoa, a taxa de consumo de oxigênio é várias vezes superior à taxa de produção. As lagoas anaeróbias têm sido eficientes para o tratamento de esgotos domésticos e esgotos compostos essencialmente de matéria orgânica.

De acordo com König (2001, p. 41),

Nas lagoas anaeróbias, a degradação de matéria orgânica é realizada pelas bactérias formadoras de ácidos orgânicos (bactérias acidogênicas) e as formadoras do gás metano (bactérias metanogênicas). As primeiras convertem os compostos orgânicos complexos presentes no esgoto em moléculas orgânicas simples. Os carboidratos como a celulose, o amido são convertidos em ácidos orgânicos, aldeídos e álcoois; os lipídios em glicerol e ácidos graxos que posteriormente serão transformados em álcoois, aldeídos e ácidos; as proteínas são degradadas em aminoácidos que por sua vez são convertidos em ácidos orgânicos, mercaptanas e aminas. Estes produtos de degradação ácida, principalmente o ácido acético, são substratos para a ação das bactérias metanogênicas, que convertem este material para metano e dióxido de carbono.

O sucesso de lagoas anaeróbias depende do equilíbrio entre as duas populações bacterianas (a formadora de ácidos orgânicos e a formadora do metano), para que aconteça isso, as temperaturas devem permanecer acima de 15° e o pH entre 6,8 e 7,4.

Segundo Campos (1999), deve-se usar o parâmetro de carga orgânica em relação ao volume para o dimensionamento de lagoas anaeróbias. A relação entre a carga orgânica afluyente e o volume da lagoa é conhecida como taxa de aplicação volumétrica e é obtida pela equação 3.8 (SPERLING, 1996b).

$$LV = L/V \quad (3.8)$$

Em que:

LV = taxa de aplicação volumétrica (kgDBO₅/m³.dia)

L = carga de DBO total afluyente (kgDBO₅/dia)

V = volume requerido para a lagoa (m³)

Cargas acima de 1.000 kg DBO₅/ha.dia garantem, de forma efetiva, condições anaeróbias em toda a massa líquida das lagoas. A Tabela 13 apresenta a faixa de valores recomendados para a taxa de aplicação de carga orgânica, em função da temperatura média do mês mais frio do ano, e valores conservativos de remoção de DBO₅, para tratamento de esgotos sanitários.

Tabela 13 Valores de taxa de aplicação de carga orgânica e remoção de DBO₅ em lagoas anaeróbias

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (°C)	TAXA DE APLICAÇÃO ORGÂNICA (g DBO₅ . m³ . dia⁻¹)	REMOÇÃO DE DBO₅ (%)
<10	100	40
10-20	20.T – 100	2.T + 20
>20	300	60

Fonte: Mara e Pearson (apud CAMPOS, 1999)
T: Temperatura (°C).

Segundo Sperling (1996b), o tempo de detenção hidráulica—TDH para lagoa anaeróbia situa-se na faixa de 3,0 a 6,0 dias e pode ser calculado pela equação 3.9.

$$TDH = V/Q \quad (3.9)$$

Em que:

TDH = tempo de detenção hidráulica (dias)

V = volume da lagoa (m³)

Q = vazão afluyente (m³/dia)

Entretanto, nas lagoas anaeróbias, ocorre contínua interação entre os organismos presentes no banco de lodos e a camada líquida devido à produção de gases. Isso pode explicar o bom desempenho verificado em lagoas anaeróbias operadas com TDH inferior a três dias (até um dia, na Região Nordeste), o que corresponde ao tempo mínimo de reprodução de bactérias metanogênicas responsáveis pela conversão de ácido acético em biogás.

A eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbias para esgotos sanitários é da ordem de 50%. O efluente das lagoas anaeróbias sai com muita matéria orgânica o que implica a necessidade de unidades de tratamento complementares. Para Van Haandel e Lettinga (1994), embora a taxa de remoção de matéria orgânica na lagoa anaeróbia seja bem mais alta do que nos outros tipos de lagoas de estabilização, a sua aplicabilidade em regiões urbanas é restrita por causa dos maus odores, que ao menos ocasionalmente, dela se desprendem.

As lagoas de estabilização de Anápolis–GO estão situadas em uma área afastada, a 4 km do centro urbano mais próximo. A literatura especializada recomenda que só se construam lagoas anaeróbias à distância mínima de 500 m de aglomerados urbanos, pois há sempre a possibilidade, especialmente em tardes com temperatura elevada, de sentir, em regiões vizinhas, os odores que emanam das lagoas. As distâncias preconizadas têm o escopo de evitar essa inconveniência.

b) Lagoas facultativas

Sperling (1996b) refere-se a lagoas facultativas como a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. O processo consiste na utilização de

grandes tanques que garantem a permanência dos esgotos por um período de tempo longo, durante o qual ocorre a estabilização natural da matéria orgânica.

Nas lagoas facultativas, os processos de oxidação bacteriana convertem o material orgânico em dióxido de carbono, amônia e fosfatos. A presença desses nutrientes (NH_4^+ e PO_4) proporciona um ambiente adequado ao desenvolvimento das algas. E estas, através de sua atividade fotossintética, produzem oxigênio, que ficará disponível para que as bactérias continuem a oxidação aeróbia de matéria orgânica. O suprimento de oxigênio na camada aeróbia de lagoas facultativas depende principalmente da atividade fotossintética de algas e da reaeração superficial através da interface ar-água.

Em condições de pH elevado, podem ocorrer: a conversão da amônia ionizada (NH_4^+) a amônia livre que tende a se liberar para a atmosfera; a precipitação dos fosfatos e a conversão do sulfeto (H_2S), causador de mau cheiro, a em bissulfeto (HS^-), que é inodoro.

A DBO total presente no esgoto efluente se deve a duas fontes: a DBO remanescente do tratamento (DBO solúvel) e a DBO devido à presença de sólidos em suspensão no efluente (DBO particulada). Os sólidos em suspensão no efluente são predominantemente algas, que poderão, ou não, exercer alguma demanda de oxigênio no corpo receptor, dependendo das suas condições de sobrevivência no mesmo (ARCEIVALA, 1981).

O efluente de uma lagoa facultativa tem, segundo Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1989), as seguintes características principais:

- cor verde devido à presença de algas;
- elevado teor de oxigênio dissolvido;

- sólidos em suspensão, embora poucos sejam sedimentáveis (as algas, por exemplo, praticamente não se sedimentam no teste do cone Imhoff).

c) Lagoas aeradas facultativas

Nas lagoas aeradas facultativas, o oxigênio da atmosfera é introduzido no meio líquido principalmente através de aeradores. A lagoa é denominada “facultativa” porque o nível de energia introduzida pelos aeradores é suficiente apenas para a oxigenação, mas não para manter os sólidos em suspensão na massa líquida. Assim, os sólidos sedimentáveis vão para o fundo da lagoa, formando a camada de lodo que será decomposta anaerobiamente. Na lagoa facultativa o oxigênio tem origem principalmente na fotossíntese, e, na lagoa aerada facultativa, o oxigênio é obtido principalmente através de equipamentos denominados aeradores. Com os aeradores, consegue-se uma maior introdução de oxigênio, comparada à lagoa facultativa convencional, permitindo a que a decomposição da matéria orgânica se dê mais rapidamente. Assim, o tempo de detenção do esgoto na lagoa pode ser menor, o requisito de área é bem inferior.

A capacidade de mistura nas lagoas aeradas facultativas é medida pela densidade de potência (Φ), que é a relação entre a energia introduzida pelos aeradores por unidade de volume do reator, equação 3.10 (SPERLING, 1996b). O mesmo autor considera razoável adotar valores em torno de $0,75 \text{ W/m}^3$ de densidade de potência para lagoas aeradas facultativas.

$$\Phi = \text{Pot}/V \quad (3.10)$$

Em que:

$$\Phi = \text{densidade de potência (W/m}^3\text{)}$$

Pot = potência instalada (W)

V = volume do reator (m^3)

d) Lagoas aeradas de mistura completa seguida de lagoas de decantação

Essas lagoas funcionam de forma totalmente aeróbia. Os aeradores, além de garantir o oxigênio necessário no meio, servem também para manter os sólidos em suspensão. Como as lagoas aeradas de mistura completa mantêm os sólidos em suspensão, é necessário que haja uma outra unidade para sedimentação desses sólidos, que é a lagoa de decantação. Segundo Sperling (1996b), há necessidade de proceder à remoção de lodo, nessas lagoas, a cada cinco anos.

Para se assegurar uma dispersão completa dos sólidos em suspensão na lagoa aerada, deve-se ter uma densidade de potência superior a $3,0 \text{ W/m}^3$ (SPERLING, 1996b).

3.4.3 Desempenho de lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização têm-se apresentado como excelente processo de tratamento de esgoto sanitário por causa dos resultados alcançados, tanto na estabilização da carga orgânica como na eliminação considerável de organismos patogênicos. Além disso, esse tipo de lagoas possibilita a remoção parcial de nutrientes.

Na Tabela 14 estão registrados os desempenhos de uma série de lagoas que tratam esgoto sanitário da cidade de Campina Grande, na Paraíba.

Tabela 14 Desempenho de lagoas em Campina Grande–PB

AMOSTRA	TEMPO DE RETENÇÃO (dias)	DBO ₅ (mg/L)	SÓLIDOS	COLIFORMES	OVOS DE NEMATÓIDE (n./L)
			TOTAIS EM SUSPENSÃO (mg/L)	FCAIS TERMOTOLERANTES (n./100 mL)	
Esgoto bruto	–	240	305	4,6 x 10 ⁷	804
Efluente de lagoa anaeróbia	6,8	63	56	2,9 x 10 ⁶	29
Efluente de lagoa facultativa	5,5	45	74	3,2 x 10 ⁵	1
Efluente de lagoa maturação 1	5,5	25	61	2,4 x 10 ⁴	0
Efluente de lagoa maturação 2	5,5	19	43	450	0
Efluente de lagoa maturação 3	5,8	17	45	30	0

Fonte: Adaptada de Mara e Silva (1986)

3.4.4 Lodo gerado em sistemas de tratamento de esgotos

O termo “lodo” tem sido empregado para definir os resíduos sólidos do tratamento de esgoto, sendo constituído por compostos orgânicos carregados pelo esgoto, microrganismos, e subprodutos da atividade dos microrganismos. Andreoli, Sperling e Fernandes (2001) consideram apropriado o emprego do termo “biossólido” como forma de ressaltar os seus aspectos benéficos (lodo), valorizando a utilização produtiva do lodo, em comparação com a mera disposição final em aterros (improdutiva).

Todos os sistemas biológicos de tratamento de esgoto produzem lodo, que devem ser descarregados com uma determinada freqüência. Segundo Campos

(1999), dependendo da natureza e origem dos sólidos, distinguem-se lodo primário e lodo secundário. O lodo primário é gerado a partir da sedimentação de material particulado do esgoto bruto. O lodo secundário ou biológico é produzido no reator biológico do sistema de tratamento, constituindo-se da mistura de sólidos não biodegradáveis do afluente e, principalmente, massa bacteriana que cresce no reator.

Cassini (2003) considera que, no Brasil, sejam produzidas cerca de 270 mil toneladas anuais de lodo por ano (expresso em matéria seca), das quais apenas cerca de 5% são reutilizadas em conformidade com as normas ambientais.

Dados apresentados por Cassini (2003) dão conta de que os esgotos domiciliares produzem, no Brasil, cerca de 10.200 t/dia de sólidos. Metade desse esgoto é recebida pelos sistemas individuais de tratamento e, depois de digerida, reduz-se a 2.040 t/dia, que são destinadas a terrenos nos limites territoriais da cidade, rios ou redes coletoras. A outra metade é recolhida pelo sistema de esgotamento sanitário, sendo que aproximadamente 3.825 t/dia de esgotos são lançados diretamente nos cursos d'água. Outras 1.275 t/dia são encaminhadas para as estações de tratamento, nas quais cerca de 255 t/dia são despejadas com o efluente. Os sólidos restantes, acrescidos daqueles gerados no próprio processo pela produção microbiana, somam aproximadamente 803 t/dia, as quais também necessitam ser dispostas de forma segura e ambientalmente aceitável. Esse volume, somado às 2.040 t/dia geradas pelos sistemas individuais de tratamento, resulta em uma produção de lodo da ordem de 2.843 t/dia (em massa seca). Se todos os esgotos fossem coletados e tratados, esse número seria três vezes maior que o atual.

De acordo com Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), na maioria dos sistemas de tratamento de esgotos é necessário o descarte do lodo, ou seja, sua retirada da fase líquida, embora nem todos necessitem do descarte contínuo dessa biomassa. Alguns sistemas de tratamento conseguem armazenar o lodo por todo o horizonte de operação da estação (ex.: lagoas facultativas), outros permitem um descarte apenas eventual (ex.: reatores anaeróbios), mas há os que requerem uma retirada contínua ou bastante freqüente (ex.: lodos ativados).

3.4.4.1 Composição físico-química típica do lodo de lagoas de estabilização

a) Sólidos totais e sólidos totais voláteis

O lodo de esgoto é composto por sólidos e por água. De acordo com a literatura específica consultada, o teor de umidade do lodo produzido e descartado da fase líquida geralmente está acima de 95%, o que determina uma densidade do lodo próxima à unidade: 1,03. O teor de umidade do lodo tem grande influência no volume a ser manejado.

Para Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), a água presente no lodo pode ser distribuída em quatro classes distintas: água livre, água adsorvida, água capilar e água celular. A remoção da água livre pode-se dar por simples ação gravitacional ou por flotação. A eficiência do adensamento pode resultar na redução de volume do lodo da ordem de 60% com relação ao volume original. A remoção da água adsorvida proporciona teores de sólidos superiores a 30%, resultando em um material denominado torta, de aparência semi-sólida, com consistência compatível com a manipulação por meio de pá ou o transporte através de roscas transportadoras. A remoção das águas livre, adsorvida e capilar do lodo

(originalmente a 2% ST) pode resultar em uma redução do volume original de 90% a 95%. A remoção da água celular, que acontece principalmente através da evaporação, consiste em uma das formas mais eficientes de remoção de umidade de “tortas” oriundas do desaguamento de lodos orgânicos domésticos e industriais disponíveis atualmente em uso. Um teor de sólidos de até 95% do total pode ser obtido. Valores típicos para teor de sólidos totais e voláteis podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 Composição do lodo gerado em ETEs

	LODO BRUTO		LODO DIGERIDO	
	VARIAÇÃO	VALOR TÍPICO	VARIAÇÃO	VALOR TÍPICO
Sólidos totais (ST %)	2,0 a 8,0	5	6,0 a 12,0	10
Sólidos voláteis (% do ST)	60,0 a 80,0	65	30,0 - 60,0	40
Graxas e gorduras solúveis (% do ST)	6,0 a 30,0		5,0 a 20,0	18
Proteínas (% do ST)	20,0 a 30,0	25	15,0 a 20,0	18

Fonte: Adaptada de Clark e Morriss (1991)

A concentração de sólidos voláteis é o melhor indicativo para se avaliar o teor de matéria orgânica e o nível de digestão do lodo. Em lodos não digeridos, a relação SV/ST situa-se entre 0,75 e 0,80; ao passo que, em lodos digeridos, esses valores situam-se entre 0,60 e 0,65. Medidas de eficiências típicas de remoção de SV na digestão do lodo situam-se em torno de 40% a 45%.

Gonçalves (2000) considera que lodo originados de ETEs operando com baixos tempos de retenção celular apresentam baixos teores de sólidos totais–ST e

elevados percentuais de sólidos voláteis–SV, exigindo etapas de tratamento que realizem a estabilização complementar. O lodo de lagoas de estabilização apresenta características específicas devido ao longo tempo de permanência dentro dos reatores. A degradação dos sólidos por períodos superiores a um ano na camada de lodo permite até mesmo a decomposição do material orgânico de biodegradação muito lenta, conforme afirmaram Saqqar e Pescod (apud GONÇALVES, 2000).

De acordo com Silva (apud GONÇALVES, 2000), o lodo retirado de lagoas primárias, em geral, apresenta elevados teores de sólidos totais ($ST \geq 15\%$) e baixos teores de sólidos voláteis ($SV \leq 50\% ST$). O mesmo autor considera importante o efeito do tempo de residência do lodo no reator sobre suas características físico-químicas. Dados relativos a sólidos totais e voláteis em algumas lagoas do estado do Espírito Santo são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 Teores de sólidos totais e de sólidos voláteis em diferentes tipos de lagoas de estabilização implantadas no Espírito Santo

PARÂMETRO	ELDORADO (lagoa anaeróbia)	MATA DA SERRA (lagoa facultativa primária)	VALPARAISO (lagoa de sedimentação)	LODO PRIMÁRIO (típico)	LODO DIGERIDO (típico)
Sólidos Totais (%)	18,3	8,4	5,8	5,0	10,0
Sólidos Voláteis (% ST)	37,2	35,8	54,8	65,0	40

Fonte: Adaptada de Gonçalves (2000)

Na Tabela 17 são apresentadas a massa de sólidos em suspensão removidos por unidade de DQO aplicada (ou DQO afluyente) e os padrões típicos de eficiência

de remoção de DQO por meio de diversos processos de tratamento de esgotos. Considerando-se que cada habitante contribui com aproximadamente 100 g/dia de DQO, pode-se calcular a contribuição *per capita* de sólidos suspensos. Na Tabela 17 também são mostradas as produções *per capita* de sólidos suspensos tendo por base os padrões típicos de eficiência de remoção de sólidos suspensos nas diversas etapas do tratamento dos esgotos.

b) Principais nutrientes presentes no lodo de lagoas de estabilização

O lodo de esgoto contém em sua composição nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Estes, por se encontrarem, em sua grande parte, na forma orgânica, são liberados no solo gradativamente por meio de processos bioquímicos, o que aumenta a probabilidade de que sejam absorvidos pelo sistema radicular das plantas, conforme ensina Melo et al. (apud RIZO, 2005).

Os nutrientes encontrados em maior quantidade no lodo das lagoas de estabilização são o N e o P. Os elementos Ca e Mg são encontrados em pequenas quantidades e o K quase não é detectado. No entanto, o K encontra-se em forma prontamente assimilável pelas plantas e normalmente é suplementado por fertilizantes químicos em solos adubados com lodo. As quantidades de micronutrientes no lodo não são constantes e a quantidade de nutrientes pode não estar perfeitamente balanceada conforme a demanda das plantas, sendo necessária a complementação com outros fertilizantes de acordo com a cultura específica (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

Tabela 17 Características e quantidade do lodo produzido em vários sistemas de tratamento de esgoto

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS DO LODO PRODUZIDO E DESCARTADO DA FASE LÍQUIDA (dirigido à etapa de tratamento do lodo)			
	KgSS/kgDQO aplicada	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSS/hab.dia) (a)	Volume de lodo (L/hab.dia) (b)
Tratamento primário convencional	0,35-0,45	2-6	35-45	0,6-2,2
Tratamento primário (tanques sépticos)	0,20-0,30	3-6	20-30	0,3-1,0
Lagoa facultativa	0,12-0,32	5-15	12-32	0,1-0,25
Lagoa anaeróbia-lagoa facultativa				
+Lagoa anaeróbia	0,20-0,45	15-20	20-45	0,1-0,3
+Lagoa facultativa	0,06-0,10	7-12	6-10	0,05-0,15
+Total	0,26-0,55	-	26-55	0,15-0,45
Lagoa aerada facultativa	0,08-0,13	6-10	8-13	0,08-0,22
Lagoa aerada mista comp. lagoa sed.	0,11-0,13	5-8	11-13	0,15-0,25
Tanque séptico +filtro anaeróbio				
+Tanque séptico	0,20-0,30	3-6	20-30	0,3-1,0
+Filtro anaeróbio	0,07-0,09	0,5-4,0	7-9	0,2-1,8
+Total	0,27-0,39	1,4-5,4	27-39	0,5-2,8
Lodo ativado convencional				
+Lodo primário	0,35-0,45	2-6	35-45	0,6-2,2
+Lodo secundário	0,25-0,35	0,6-1	25-35	2,5-6,0
+Total	0,60-0,80	1-2	60-80	3,1-8,2
Lodo ativado-aeração prolongada	0,50-0,55	0,8-1,2	40-45	3,3-5,6
Filtro biológico de alta carga				
+Lodo primário	0,35-0,45	2-6	35-45	0,6-2,2
+Lodo secundário	0,20-0,30	1-2,5	20-30	0,8-3,0
+Total	0,55-0,75	1,5-4,0	55-75	1,4-5,2
Biofiltro aerado submerso				
+Lodo primário	0,35-0,45	2-6	35-40	0,6-2,2
+Lodo secundário	0,25-0,35	0,6-1	25-35	2,5-6,0
+Total	0,60-0,80	1-2	3,1-8,2	3,1-8,2
Reator UASB	0,12-0,18	3-6	12-18	0,2-0,6
UASB+ pós-tratamento aeróbio (c)				
+Lodo anaeróbio (UASB)	0,12-0,18	3-4	12-18	0,3-0,6
+Lodo aeróbio/lodo ativado (d)	0,08-0,14	3-4	8-14	0,2-0,5
+Total	0,2-0,32	3-4	20-32	0,5-1,1

Fonte: Andreoli, Sperling e Fernandes (2001)

(a) assumindo 0,1 kg DQO/hab.dia e 0,06 kg SS/hab.dia.

(b) litros de lodo/hab.dia = [(g SS/hab.dia)/ (sólidos secos (%))x (100/1000) (assumindo densidade de 1000 kg/m³).

(c) pós-tratamento aeróbio.

(d) lodo aeróbio retirado do UASB. Após redução de massa e volume na digestão e adensamento que ocorrem no próprio reator UASB.

O nitrogênio que provém dos dejetos e da massa microbiana dos esgotos geralmente é um dos constituintes de maior valor do biossólido. Ele pode ser utilizado como fator limitante para a definição da dosagem máxima de biossólido a ser aplicada no solo, pois acima de certo nível, o nitrogênio pode lixiviar em forma de nitrato e contaminar o lençol freático (TSUTIYA et al., 2002).

Segundo Luchesi (apud GONÇALVES, 2000, p. 27):

O teor de nitrogênio nos lodos de ETE varia de 2% a 6%, principalmente sob a forma orgânica, do qual 10% a 40% mineralizam-se no primeiro ano de aplicação no solo. O fósforo apresenta-se no lodo também em maiores concentrações que em matérias orgânicas de uso habitual na agricultura e apresenta baixa solubilidade no solo. O potássio apresenta-se em níveis geralmente inferiores a 1% no lodo, por esse elemento ser muito solúvel e não ficar retido no mesmo. No solo, 100% do potássio é considerado assimilável pelas plantas.

c) Principais poluentes do lodo de lagoas de estabilização

Alguns componentes do lodo tornam-se potencialmente perigosos para meio ambiente, impondo dificuldades ao se definir o destino do lodo retirado do sistema. São eles: metais pesados e poluentes orgânicos variados.

Segundo Gonçalves (2000), os metais pesados presentes no lodo necessitam de atenção especial, pois não são biodegradados biológica ou quimicamente, de forma natural, sobretudo em ambientes terrestres e em sedimentos aquáticos. Os metais pesados são acumulados e, quando reagem com alguns componentes dos solos, tornam-se ainda mais nocivos ao meio ambiente. A quantidade de eventuais elementos poluentes no lodo torna-se fator limitante para a quantidade de biossólido que se pode aplicar no solo. A concentração de metais em lodos depende, em grande parte, do tipo e da quantidade de efluentes industriais lançados nos sistemas de tratamento de esgotos e é fundamental na definição de alternativa para

disposição final. Os valores determinados pela Resolução n. 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006) para a concentração de metais pesados no lodo são muito mais restritivos do que, por exemplo, os padrões estabelecidos nos Estados Unidos (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992) e no estado de São Paulo (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999), como pode ser visto no Quadro 8. Se o solo já possui teor elevado de metais pesados, é possível a adoção de técnicas de manejo que os tornem o menos disponível possível para as plantas (TSUTIYA et al., 2002).

d) Características microbiológicas do lodo produzido nas lagoas

Segundo Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), cinco grupos de organismos patogênicos podem estar presentes no lodo: helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias. Esses agentes patogênicos podem ser de procedência humana, o que reflete diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região.

Microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto apresentam-se como um grande obstáculo para sua utilização na agricultura. A literatura disponível sobre lodo em lagoas indica baixos valores do número de coliformes fecais presentes, variando entre $1,0 \times 10^3$ e $1,0 \times 10^5$ NMP/100g (MS).

Segundo Pescod (apud GONÇALVES, 2000), a remoção de ovos de helmintos em lagoas de estabilização ocorre predominantemente por sedimentação, com taxas bastante elevadas em climas quentes. Estudos realizados por Silva (apud GONÇALVES, 2000), em várias lagoas operando em série, na Região Nordeste do Brasil, mostraram que todos os ovos de parasitas são removidos nas duas primeiras

lagoas. Experimentos feitos por Gonçalves (2000), estudando lagoa anaeróbia do Espírito Santo, indicam que a digestão anaeróbia nessa lagoa resulta em uma porcentagem média de redução de viabilidade dos ovos de helmintos de 95,4%.

Quadro 8 Padrões referentes a metais em lodo de esgoto utilizado na agricultura e nos solos agrícolas

METAL PESADO	SÃO PAULO ¹		ESTADOS UNIDOS ²		RESOLUÇÃO n. 375 ³	
	Concentração máxima no biossólido (mg/kgMS)	Taxa máxima de aplicação acumulativa (kg/ha)	Concentração máxima no biossólido (mg/kgMS)	Taxa máxima de aplicação acumulativa (kg/ha)	Concentração máxima no biossólido (mg/kgMS)	Taxa máxima de aplicação acumulativa (kg/ha)
Arsênio	75	41	75	41	41	30
Bário	-	-	-	-	1.300	265
Cádmio	85	39	85	39	39	4
Chumbo	840	300	840	300	300	41
Cobre	4.300	1.500	4.300	1.500	1.500	137
Cromo	-	-	3.000	-	1.000	154
Mercúrio	57	17	57	17	17	1,2
Molibdênio	75	-	75	-	50	13
Níquel	420	420	420	420	420	74
Selênio	100	100	100	100	100	13
Zinco	7.500	2.800	7.500	2.800	2.800	445

Fonte:

¹ Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1999)

² United States Environmental Protection Agency (1992)

³ Conselho Nacional do Meio Ambiente (2006)

A Tabela 18 apresenta dados relativos a limites permitidos, na legislação do estado do Paraná e dos Estados Unidos, para a presença de microrganismos no lodo.

Tabela 18 Limites estabelecidos para patógenos pela Resolução n. 375 e a legislação dos Estados Unidos

CONAMA RESOLUÇÃO n. 375/2006		
CLASSE DE MICROORGANISMO	LODO CLASSE A	LODO CLASSE B
Ovos viáveis de helmintos	< 0,25 ovos/g de ST	< 10 ovos/g ST
<i>Salmonella</i>	Ausência em 10 g de ST	Não mencionado
Vírus	<0,25 UFP/g de ST	Não mencionado
Coliformes termotolerantes	< 10 ³ NMP/g de ST	< 10 ⁶ NMP/g ST
LEGISLAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS		
CLASSE DE MICROORGANISMO	LODO CLASSE A	LODO CLASSE B
Ovos viáveis de helmintos	< 1/4 g MS	Não especificado
<i>Salmonella</i> spp	< 3/4 g MS	Não especificado
Coliformes fecais	< 10 ³ /g MS	< 2 x 10 ⁶ /g MS
Vírus entéricos	< 1/4 g MS	Não especificado
Culturas	Pode ser aplicado em terrenos de praças, jardins e pastagens	Pode ser utilizado na agricultura com algumas restrições

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2000)

ST: Sólidos totais

NMP: Número Mais Provável

UFP: Unidade Formadora de Placa

3.4.4.2 Produção de lodo em lagoas de estabilização

Pouca importância tem sido atribuída ao problema do lodo produzido em lagoas de estabilização. Segundo dados apresentados por Gonçalves et al. (2000), cerca de 90% das lagoas de um total de 36 ETEs brasileiras sobre as quais as informações foram fornecidas (15 sistemas australianos, 11 facultativas primárias, 11 outras combinações), nunca sofreram remoção do lodo. Em apenas quatro lagoas efetuou-se a remoção do lodo, sendo uma por dragagem e as demais, manualmente. Nesses casos, o lodo removido foi disposto no solo ou em córregos

próximos às áreas das ETEs. Várias lagoas estão em operação por períodos de funcionamento superiores a 15 anos, e há registros de lagoas com mais de 50% do seu volume útil tomado por lodo.

Nas lagoas, a matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar-se, vindo a constituir o lodo de fundo na zona anaeróbia. A acumulação do lodo deve-se à areia e à matéria orgânica que escapam do tratamento preliminar. Esse lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios e facultativos, sendo convertido em gás carbônico, água, metano e outros. Após algum tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece no fundo. A acumulação de lodo no fundo das lagoas é bastante acentuada nos primeiros anos de operação diminuindo sensivelmente ao longo dos anos. De acordo com Marais (apud GONÇALVES, 2000), logo após a partida do processo, a ausência da biomassa anaeróbia no fundo da lagoa resulta nas baixas taxas de hidrólise e metanização da matéria orgânica sedimentada. À medida que a biomassa se desenvolve adaptada às condições operacionais, o estoque de matéria orgânica tende a diminuir. A matéria orgânica dissolvida e em suspensão de pequena dimensão não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida.

Gonçalves (2000) considera que as taxas de acumulação de lodo em lagoas podem ser expressas em termos de:

- volume de lodo acumulado por unidade de tempo *per capita* ($m^3/\text{hab.ano}$ ou $L/\text{hab.dia}$);
- altura acumulada de lodo por unidade de tempo (cm/ano).

A taxa volumétrica *per capita* de acumulação de lodo é definida pela equação 3.11 (GONÇALVES, 2000).

$$T_v = (1.000 \times V)/(P \times T) \quad (3.11)$$

Em que:

T_v = taxa volumétrica *per capita* de acumulação de lodo (L/hab.dia)

V = volume de lodo acumulado no período considerado (m^3)

P = número de habitantes com ligação à rede coletora que contribui para a ETE (hab.)

T = tempo de operação da lagoa, decorrido desde a operação da lagoa (dias)

A taxa linear de acumulação de lodos com relação à altura da camada de lodos é definida pela equação 3.12 (GONÇALVES, 2000).

$$TL = h/t \quad (3.12)$$

Em que:

TL = taxa linear de acumulação de lodos (cm/ano)

h = altura média da camada de lodos (cm)

t = tempo de operação da lagoa (ano)

Gloyna (apud MENDONÇA, 1990) considera que a diminuição da profundidade das lagoas facultativas chega a cerca de 30 cm a cada período de 25 ou 35 anos.

A menos que a lagoa esteja recebendo uma alta carga de matéria orgânica, o lodo poderá acumular-se por diversos anos, sem necessidade de qualquer remoção. Sperling (1996b) observa que, embora a areia represente apenas cerca de 5%, pode ser necessário removê-la, já que esta tende a se concentrar próximo às entradas das lagoas e na primeira célula de um sistema em série.

A estabilização anaeróbia do lodo pode gerar subprodutos solúveis estabilizados, os quais, ao serem reintroduzidos na massa líquida superior, são responsáveis por uma nova carga de DBO. Isso ocorre com maior frequência nos períodos mais quentes. “Assim, os meses de verão não são necessariamente os meses de melhor desempenho da lagoa”, segundo Abdel-Razik, (apud SPERLING, 1996b, p. 46).

Jordão e Pessoa (2005) afirmam que o assoreamento e a acumulação de lodo no fundo das lagoas estão associados à maior ou menor concentração de sólidos no esgoto e à prática de desarenação prévia. Embora a deposição de lodo seja relativamente constante, e a acumulação no fundo da lagoa seja crescente ao longo dos anos, a taxa relativa de acumulação (em termos de volume por habitante e por ano) decai com o tempo. Isso ocorre devido aos fenômenos típicos da digestão ou fermentação anaeróbia: gaseificação, liquefação e adensamento.

Alguns autores e operadores têm relacionado os índices ou taxas de acumulação de lodo nas lagoas, devendo-se ter o cuidado de verificar as condições em que tal deposição ocorreu (se em sistema com desarenador, pré-decantado, se em lagoa primária, o tempo decorrido etc.).

Do ponto de vista de Mendonça (1990), normalmente a limpeza do lodo das lagoas anaeróbias varia em intervalos de 2 a 5 anos, sendo a taxa de acumulação de lodo em lagoas facultativas é praticamente a mesma das lagoas anaeróbias.

Tsutya e Cassetari (apud ANDRADE NETO, 1997) realizaram pesquisa para caracterização do lodo das lagoas de estabilização do sistema do município de Tatuí-SP, em operação desde 1988, sendo constituído de duas lagoas em série, desprovidas de gradeamento e desarenação. No início da operação, a população atendida era de 20.000 habitantes e, atualmente, é de cerca de 49.000. As lagoas

apresentam formatos irregulares, sendo a primeira projetada para funcionar como anaeróbia, apesar da pequena profundidade, de apenas 1,50 m, e a segunda, como facultativa, com 1,30 m de profundidade. A concentração de sólidos sedimentáveis presentes no esgoto, medida no cone de Imhoff, variou, durante as pesquisas de 0,5 mL/L a 9,0 mL/L. Os resultados da pesquisa mostraram que:

- a distribuição de lodo na área das lagoas pode ser considerada aleatória, não havendo qualquer tendência de uniformidade ou crescimento típico;
- a concentração de sólidos no lodo permaneceu praticamente constante em toda a lagoa, resultando em uma concentração média de sólidos totais de 9,26%;
- o grau de mineralização pode ser considerado elevado, sendo que a fração de sólidos fixos corresponde a 57% do total;
- as concentrações de coliformes totais e fecais ($2,2$ a 17×10^5 NMP/100ml) encontradas ficaram abaixo das que são referidas em publicações internacionais;
- quanto aos ovos de helmintos e cistos de protozoários, a variação foi de 130 a 270 em 100 g de lodo. Verificou-se a predominância de *Ascaris lumbricoides* e *Enterobius vermiculares*, que são os helmintos de maior ocorrência no Brasil.

A Tabela 19 reúne dados concernentes à taxa de acumulação de lodo extraídos de experiências registradas por vários autores em diversos tipos de lagoas de estabilização do mundo.

Jordão e Pessoa (2005) recomendam utilizar valores para taxa volumétrica *per capita* entre 0,05 L/hab.dia a 0,27 L/hab.dia para lagoas anaeróbias e cita experiências realizadas em lagoas anaeróbias em cidades do estado de São Paulo com taxa linear média acumulada de 3,94 cm/ano.

Tabela 19 Taxas de acumulação de lodo em lagoas anaeróbias e facultativas primárias

TAXA DE ACUMULAÇÃO		TIPO DE LAGOA/OBSERVAÇÃO	FONTE
L/hab.dia	cm/ano		
0,096	42,18	Anaeróbia na PB	Alves et al. (2005)
0,044	65,7	Anaeróbia no DF	Felizatto et al. (2003)
0,023	7,66	Anaeróbia no ES	Gonçalves (2003)
0,026	2,86	Anaeróbia no ES	Gonçalves (2003)
0,25-0,4	-	Facultativa no Canadá	Clark et al. (1970)
0,34	9,1	Anaeróbia	Gloyna (1973)
0,26	-	Anaeróbia	Hess (1975)
0,08-0,11	-	Anaeróbia	Mendonça (1990)
0,3-0,4	-	Anaeróbia	Silva e Mara (1979)
0,08-0,22	-	Facultativa	Arceivala (1981)
0,1	-	Facultativa Primária (RJ)	Da Rin e Nascimento (1988)
-	2,2-5,7	Anaeróbias em SP	Silva (1983)
-	1,2-2,8	Facultativas em SP	Silva (1983)
-	1,5-2,3	Facultativa em SP	Silva (1993)
-	3,9	Anaeróbia em SP	Tsuty e Cassetari (1995)
-	4,6	Anaeróbia	Saqqar e Pescod (1995)
-	2,2	Facultativa em SP	Tsuty e Cassetari (1995)
-	2,4	Facultativa primária/México	Nelson e Jiménez (1999)
-	5,3-7,7	Anaeróbia no ES	Nascimento et al. (1999)
-	3	Facultativa	Howard (1967)

Fonte: Adaptada de Gonçalves (2000)

Alguns modelos racionais foram propostos para determinar a produção de lodo em lagoas primárias. Dentre eles pode-se destacar o modelo desenvolvido por Saqqar e Pescod (apud GONÇALVES, 2000), expresso pelas equações 3.13 e 3.14.

$$V_{AS} = K_{AS} \times [(1,7 \times F_{xvss,0} + 4,5 \times F_{xss,0} + 1,0 \times F_{cDBO,0})/1.000] \quad (3.13)$$

$$F = C \times Q \quad (3.14)$$

Em que:

F = fluxo de massa (kg/dia)

C = concentração do substrato considerado (mg/L)

Q = vazão média no esgoto bruto (m³/dia)

V_{AS} = volume de lodo acumulado (m³)

K_{AS} = coeficiente de acumulação de lodo (valores superiores a 1 para lagoas com menos de um ano em operação)

F_{xvss,0} – Fração de sólidos suspensos voláteis na entrada da lagoa (kg/dia)

F_{xssm,0} – Fração de sólidos suspensos fixos na entrada da lagoa (kg/dia)

F_{cDBO,0} – carga de DBO₅ na entrada da lagoa (kg/dia)

3.5 Gerenciamento de resíduos sólidos

3.5.1 Conceitos

No uso corrente, o termo gerenciamento significa “ato ou efeito de administrar negócios, bens, ou serviços” (FERREIRA, 1986). A equivalência com o significado de gestão – “ato de gerir, gerência, administração” –, explica por que, na prática, os dois termos se alternam, de forma aleatória. No entanto, o uso formal parece tender

a consagrar como mais preciso, no âmbito do saneamento, o primeiro, mais freqüente quando se trata de dimensões mais específicas. A definição de gerenciamento de resíduos sólidos adotada neste trabalho é a mesma da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, no artigo 2º, inciso II, da Lei n. 9.605 (BRASIL, 1998):

Processo que compreende, observados os princípios definidos nesta lei, a segregação, a coleta, a triagem, o acondicionamento, o transporte, o armazenamento, o beneficiamento, a comercialização, a reciclagem e a disposição final dos resíduos sólidos e o tratamento.

A NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a) define resíduo sólido como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente viáveis em face à melhor tecnologia disponível.

3.5.2 Classificação

Em geral, os resíduos sólidos são classificados quanto à sua origem ou fonte e quanto ao grau dos riscos que apresenta, tendo em vista determinados padrões de qualidade ambiental e de saúde pública. É a classificação dos resíduos que vai determinar o tratamento dispensado a eles, bem como sua disposição final. No entanto, essa classificação é variável, cada país adota o seu padrão.

No Brasil, a classificação dos resíduos em razão dos riscos que apresenta é feita conforme a NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a), que os agrupa em duas categorias: os resíduos de Classe I, considerados perigosos, e os resíduos de Classe II, os não perigosos.

a) Resíduos Classe I – Perigosos

Essa classificação baseia-se nos riscos potenciais que um resíduo pode representar para a saúde pública e o ambiente, devido às suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas. Recebem essa classificação os resíduos sólidos ou as 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 a incidência de doenças e/ou causando efeitos adversos ao ambiente quando manejados ou dispostos de forma inadequada.

b) Resíduos Classe II – Não perigosos

• Resíduos Classe II A - Não Inertes

Nos termos da NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a), 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.

• Resíduos Classe II B – Inertes

Recebem essa classificação os resíduos sólidos ou as misturas de resíduos sólidos que, quando amostrados segundo a NBR 10.007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004c) e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada à temperatura ambiente, conforme a NBR 10.006 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004b), não

apresentem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor.

3.5.3 Princípios de gerenciamento de resíduos sólidos

Segundo Pellegrino (2003), tendo em vista as deficiências dos modelos de gerenciamento de resíduos aplicados, novos modelos vão surgindo. A evolução dos modelos de gerenciamento de resíduos sólidos pode ser dividida em três períodos.

De acordo com Demajorovic (apud PELLEGRINO, 2003), a primeira fase, que prevaleceu até a década de 1970, caracterizava-se pela preocupação apenas com a disposição dos resíduos. Desenvolveu-se, nessa época, o modelo dos aterros sanitários. O benefício trazido por essa fase foi a diminuição dos lixões existentes. No entanto, a partir da década de 1970, as críticas cada vez mais acirradas de grupos ambientalistas a apontar danos como a poluição das águas subterrâneas, ao mesmo tempo em que se tornavam escassos os espaços disponíveis para a construção de novos aterros, puseram em evidência as limitações dessa alternativa.

A segunda fase estabeleceu novas prioridades para a gestão de resíduos sólidos, as quais eram: redução da quantidade de resíduo para a disposição final, reciclagem do material, incineração, reaproveitamento da energia resultante e disposição dos resíduos em aterros sanitários controlados.

Ainda segundo o mesmo autor, no final da década de 1980, começaram a surgir as primeiras críticas desfavoráveis ao grande estímulo da reciclagem, pois vantagens atribuídas ao reaproveitamento dos materiais, como o menor consumo de energia e redução na quantidade de resíduos, deveriam ser reavaliadas.

Na terceira fase, foi incorporado o princípio da redução na fonte, minimização na fonte, invertendo a hierarquização utilizada na segunda fase. Em vez de buscar a reciclagem, propõe-se a reutilização. E, antes que sejam dispostos, devem ser incinerados (opção pouco indicada por especialistas brasileiros), afim de que seja reaproveitada a energia existente nos resíduos.

Assim o atual modelo de gestão preconiza diminuição de resíduos na fonte, a reutilização, e reaproveitamento da energia contida nos resíduos Dmajorovic (apud PELLEGRINO, 2003).

3.5.4 Gerenciamento dos resíduos do gradeamento e desarenador de ETE

Em toda a literatura pesquisada pouco foi encontrado sobre gerenciamento de resíduos gerados do tratamento preliminar. As empresas de saneamento do país que foram consultadas para esta pesquisa apontaram os aterros sanitários como solução para esse tipo de resíduos gerados nas ETEs. A NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a) norteia princípios para gerenciamento de resíduos sólidos gerados em ETEs, ao definir e estabelecer locais para o destino desses resíduos.

O controle quantitativo dos resíduos é fundamental na gestão financeira e técnica do processo. Geralmente, os custos de manuseio, transporte e destino final são calculados com base no volume e peso do material produzido diariamente.

As principais etapas do gerenciamento dos resíduos gradeados e retidos nos desarenador são:

- *acondicionamento*: o acondicionamento dos resíduos do desarenador e das grades deve ser feito em contêiner colocado ao lado do desarenador, permitindo fácil acesso de caminhão na operação de troca do contêiner.

- *transporte*: o transporte do material pode ser feito por caminhões do tipo basculante de tal forma que a caçamba seja bem vedada e travada, de modo a impedir a fuga do material.

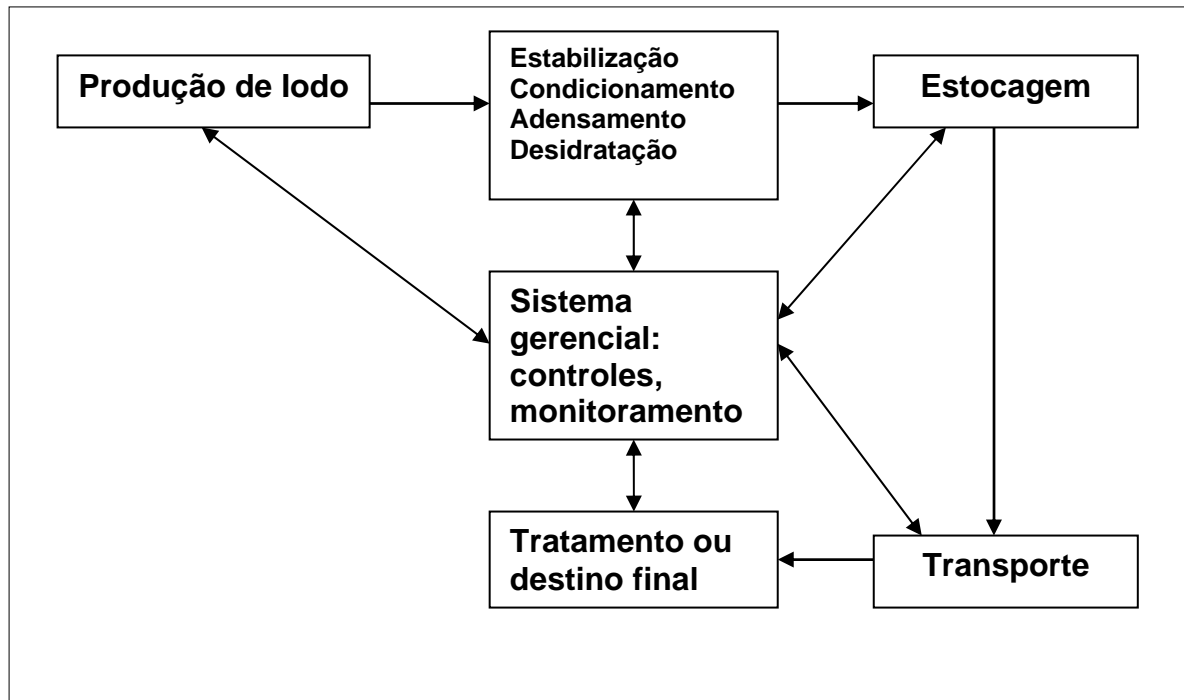
- *destino final*: praticamente todo resíduo gerado no tratamento preliminar é levado para o aterro sanitário municipal, os contratos com a prefeitura municipal e previsões para estocagem do material devem ser periodicamente avaliados.

3.5.5 Gerenciamento do lodo na ETE

3.5.5.1 Principais etapas do gerenciamento do lodo

Segundo Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), definidas as alternativas de processamento e destino final do lodo, a ETE deve apresentar estrutura física e gerencial compatível com a atividade a ser desenvolvida. As principais etapas do gerenciamento do lodo na ETE (Esquema 3) e seus respectivos objetivos são:

- adensamento - remoção de umidade (redução de volume);
- estabilização - remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis);
- condicionamento - preparação para a desidratação (principalmente mecânica);
- desaguamento - remoção de umidade (redução de volume);
- higienização - remoção de organismos patogênicos;
- disposição final - destinação final dos subprodutos.



Fonte: Andreoli, Sperling e Fernandes (2001)

Esquema 3 Representação esquemática do gerenciamento de tratamento e destino final do lodo de esgoto

O adensamento ou espessamento é um processo físico de concentração de sólidos no lodo, que visa reduzir sua umidade e, em decorrência, seu volume, facilitando as etapas subseqüentes de tratamento do lodo. Esse processo é mais utilizado em tratamento primário, lodos ativados e filtros biológicos percolados, tendo importantes implicações no dimensionamento e na operação dos digestores.

O desaguamento do lodo pode ser realizado por meios naturais ou mecanizados. Nos processos naturais, a evaporação e a percolação são os principais mecanismos de remoção de água, o que demanda tempo de exposição do lodo às condições propícias ao desaguamento. A área disponível e o tipo de lodo são os fatores preponderantes na escolha do processo de desaguamento. Segundo Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), os principais processos utilizados para o desaguamento

de lodos são: leitos de secagem, lagoas de lodo, centrífugas, filtros a vácuo, prensas desaguadoras, filtros-prensa.

Os leitos de secagem são uma das técnicas mais antigas utilizadas na separação de sólido e líquido do lodo. Seu custo de implantação é bastante reduzido, se comparado às opções mecânicas de desidratação, segundo Van Haandel e Lettinga (apud ANDREOLI, SPERLING, FERNANDES, 2001).

Segundo Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), as lagoas de secagem de lodo são utilizadas para adensamento, digestão complementar, desaguamento e até mesmo para disposição final de lodos de esgotos. O mesmo autor afirma também que as lagoas de secagem constituem um processo recomendado para desaguar lodos previamente digeridos pelas vias aeróbia ou anaeróbia, não sendo recomendado para desaguamento de lodos primários ou mistos. A principal diferença entre esse processo e os leitos de secagem reside no fato de que a evaporação é o principal mecanismo que influencia o desaguamento. A percolação tem um efeito menor do que o obtido com os leitos de secagem.

De acordo com Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), a desinfecção do lodo é uma operação necessária se seu destino for a reciclagem agrícola, já que os processos de digestão anaeróbia e aeróbia geralmente empregados não reduzem o nível de patógenos a patamares aceitáveis. Para a incineração ou disposição do lodo em aterro, a higienização não é necessária. Um processo bastante eficiente de eliminação de patógenos presentes no lodo é a calagem. Esta consiste na adição e mistura de cal ao lodo, para alcalinização brusca do meio, elevando o pH a níveis ligeiramente superiores a 12, o que torna o meio impróprio para a sobrevivência e o desenvolvimento dos patógenos presentes no lodo EPA (apud GONÇALVES, 2000). Segundo o mesmo autor, a quantidade de cal a ser adicionada ao lodo deve ser suficiente para promover

um grau de estabilização que permita a armazenagem por um período de tempo de aproximadamente 14 dias. Quando se usa cal virgem os parâmetros determinantes da eficiência da calagem são o aumento de pH e temperatura; já no uso da cal hidratada, ocorre somente o aumento do pH.

3.5.5.2 Destinação do lodo

Segundo Santos (apud GONÇALVES, 2000), a definição da melhor opção para disposição final do lodo decorre diretamente das suas características físico-químicas e microbiológicas. Entre as opções para o destino do lodo, são mais conhecidas e praticadas as seguintes: aterro sanitário, lagoas de armazenamento, incineração, reciclagem agrícola e recuperação de áreas degradadas.

O Quadro 9 apresenta uma síntese descritiva das principais alternativas para disposição final do lodo.

Gonçalves (2000) considera o aproveitamento do lodo de ETEs em reciclagem agrícola uma alternativa promissora, tanto do ponto de vista ambiental como econômico. Os teores de nitrogênio e fósforo do lodo permitem uma diminuição significativa da necessidade de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, enquanto a matéria orgânica aumenta a resistência do solo à erosão. A utilização do lodo na agricultura ou na silvicultura pode constituir uma ótima alternativa para a melhoria das características do solo em várias regiões de agricultura intensiva ou que necessita de reflorestamento.

Segundo Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), além da qualidade do biossólido e da seleção de glebas aptas para sua aplicação, a segurança da utilização depende, ainda, de uma série de recomendações de uso e manejo, incluindo: culturas

em que pode ser utilizado, quantidade a ser aplicada e alternativas de aplicação e incorporação. Os cereais são as culturas mais recomendadas, e culturas como café, cana-de-açúcar representam outro segmento bastante interessante para aplicação do bio sólido. De acordo com Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), a taxa de aplicação do bio sólido na agricultura é função da necessidade de nutrientes da espécie a ser cultivada, da qualidade agrônômica do bio sólido (principalmente do teor de nitrogênio), da área onde ele será aplicado e de suas qualidades físico-químicas (conteúdo de metais pesados e poder reativo). Na avaliação dos mesmos autores, as áreas de reflorestamento apresentam especial interesse. Como os produtos dessa atividade não se destinam ao consumo, podem receber, sem grandes riscos quantidades de bio sólidos, desde que sejam respeitados os limites de acumulação de metais pesados e sanados os riscos de contaminação de águas subterrâneas com nitratos.

Quadro 9. Principais alternativas de disposição final do lodo

ALTERNATIVA	COMENTÁRIO
Aterro sanitário	Disposição de resíduos em valas ou trincheiras, compactadas e recobertas com solo até seu total preenchimento, quando então são seladas. O lodo de esgoto pode ser disposto em aterro sanitário exclusivo ou co-disposto com resíduos urbanos.
Recuperação de área degradada	Disposição de altas doses de lodo em locais drasticamente alterados, como áreas de mineração, onde o solo não oferece condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo.
Reciclagem agrícola	Disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas.

Fonte: Andreoli, Sperling e Fernandes (2001)

A aplicação de biossólidos em plantações florestais depende, fundamentalmente, de que existam, próximas às ETEs, áreas aptas a recebê-los. Empregar biossólidos na fertilização de florestas renovadas pode ter limitações de ordem econômica, sobretudo pelo custo do transporte, quando a ETE se localiza longe da área de aplicação (TSUTYA et al., 2002). Para Marsiglia Netto (apud TSUTIYA et al., 2002) a estimativa de custo para aplicação do biossólido gerado na ETE Barueri em plantações florestais é de US\$ 21,00/t, sendo considerada uma distância de transporte de 60 km e uma taxa de aplicação do biossólido de 30 t/ha, em base seca.

O Quadro 10 relaciona os principais aspectos positivos e negativos associados a cada uma destas modalidades de disposição do lodo.

A recuperação de áreas degradadas constitui outra opção de destino do lodo a ser considerada. Trata-se de uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente segura. Segundo Rizo (2005), os aspectos econômicos da disposição do lodo de ETEs estão relacionados ao aumento da fertilidade dos solos decorrente do incremento de matéria orgânica e nutrientes, que melhora sua estrutura física, aumentando a infiltração e a capacidade de retenção de água no solo, bem como diminuindo os riscos de erosão hídrica pelo escoamento superficial de água.

Os estudos empreendidos por Rizo (2005) para utilização do lodo da ETE de Goiânia na recuperação de área degradada apontam para o uso na revegetação de *Eucalyptus urophylla*. A razão dessa escolha é que é uma espécie que se desenvolve bem em solos arenosos, pobres e sujeitos a déficit hídrico (3 a 6 meses), porém apresenta respostas significativas quando da fertilização com N, P, K. Além de ser resistente ao cancro, é também uma espécie melífera, indicada para a obtenção de celulose, aglomerados e chapas de fibra, serraria, postes, mourões e carvão.

Quadro 10 Vantagens e desvantagens das alternativas de disposição de lodo comumente adotadas

ALTERNATIVA DE DISPOSIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Incineração	Redução drástica de volume Esterilização	Custos elevados Disposição das cinzas Poluição atmosférica
Aterro sanitário	Baixo custo	Necessidade de grandes áreas Localização próxima a centros urbanos Características especiais de solo Isolamento ambiental Produção de gases e percolados Dificuldade de reintegração da área após desativação
<i>Landfarming</i> - disposição superficial no solo	Degradação microbiana de baixo custo Disposição de grandes volumes por unidade de área	Acúmulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo Possibilidade de contaminação do lençol freático Liberação de odores e atração de vetores Dificuldade de reintegração da área após desativação
Recuperação de áreas degradadas	Taxas elevadas de aplicação Resultados positivos sobre a reconstituição do solo e da flora	Odores Limitações de composição e uso Contaminação do lençol freático, fauna e flora
Reciclagem agrícola	Grande disponibilidade de áreas Efeitos positivos sobre o solo Solução a longo prazo Pontencial como fertilizante Resposta positiva das culturas ao uso	Limitações referentes a composição e taxas de aplicação Contaminação do solo com metais Contaminação de alimentos com elementos tóxicos e organismos patogênicos Odores

Fonte: Andreoli, Sperling e Fernandes (2001)

Grande parte dos solos brasileiros apresenta pH ácido. Esta é uma característica marcante dos solos de Cerrado. Sendo a calagem um dos processos mais eficientes

para a eliminação dos patógenos no lodo, por elevar o pH da mistura, o uso de lodo caleado pode substituir a aplicação do calcário.

A aplicação do biossólido em áreas de Anápolis é facilitada, pois o município abrange uma área de 918 km² e encontra-se inserido no bioma do Cerrado, caracterizado como uma vegetação de fisionomia e flora próprias, apresentando formações de florestas, de savana e de campo. Dados do plano diretor da cidade de Anápolis (ANÁPOLIS, 2006) permitem classificar os solos existentes em cambissolos e latossolos. Os cambissolos são sujeitos a processos erosivos, independentemente do tipo de cobertura vegetal ou de uso da terra, porém, acentua-se, quando esse uso é inadequado. A aptidão agrícola desses solos é de regular a restrita para pastagens plantadas, sendo recomendadas ao extrativismo vegetal ou a preservação ambiental. Os latossolos são profundos, bem drenados, bastante porosos, com avançado estágio de intemperismo e processo intensivo de lixiviação, o que resulta numa baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas. Na área do município predominam o latossolo vermelho distrófico e o latossolo vermelho-amarelo distrófico, ocupando 89% das terras. Sua utilização agrícola racional exige a aplicação de prática de adubação e calagem. Na zona rural a maior ocupação do solo se dá com as pastagens destinadas à pecuária de leite, desenvolvidas em pequenas propriedades. Também é significativa a produção de hortaliças.

3.5.5.3 Controle qualitativo e quantitativo

Segundo Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), o controle de qualidade e quantidade é uma necessidade básica para a gestão financeira e técnica do processo. Geralmente, os custos de manuseio e transporte são calculados com base no lodo úmido, porém para efeito comparativo entre alternativas, é preferível se

utilizar os custos em base seca. Por essa razão, há a necessidade de se controlar de forma confiável o teor de sólidos totais do lodo.

Do ponto de vista químico, o controle deve ser definido em função do destino final escolhido. Para a reciclagem agrícola, que é a opção mais exigente em termos de controle, é fundamental o controle de metais pesados, teor de nutriente e sólidos fixos e voláteis (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

Ainda segundo Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), do ponto de vista biológico, após o processamento do lodo a determinação de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos, com teste de viabilidade, são os parâmetros mínimos recomendados para a reciclagem agrícola.

3.5.5.4 Manuseio do lodo na ETE

Caso haja necessidade de manuseio na própria ETE, normalmente são empregadas esteiras transportadoras ou caçambas do tipo *Brook*, geralmente utilizadas para transporte de resíduos variados. Este tipo de caçamba trabalha acoplada a caminhões dotados de dispositivo hidráulico de carga e descarga, o que torna o manuseio bastante prático (ANDREOLI, SPERLING, FERNANDES, 2001).

3.5.5.5 Armazenamento do lodo

A área de armazenamento é dimensionada em função dos tempos médios de armazenamento para os volumes previstos nas características do lodo.

Podem ser utilizadas pás carregadeiras de rodas ou retro-escavadeiras para carregamento dos caminhões.

A área de armazenamento deve ser impermeabilizada para evitar contaminação do solo e subsolo, assim como para facilitar as operações de carregamento. Estas áreas devem ser preferencialmente cobertas para evitar encharcamento do lodo e diminuir o problema de odor.

3.5.5.6 Transporte do lodo

O tipo de transporte a ser utilizado, da instalação de estocagem ou da própria estação de tratamento de esgotos até as áreas de aplicação, depende dos meios disponíveis, das características do lodo, das quantidades a serem transportadas, da distância a ser percorrida até as áreas de aplicação e dos acessos disponíveis (TSUTIYA et al., 2002). O lodo líquido pode ser bombeado ou transportado em caminhões-tanque, o lodo pastoso e sólido pode ser transportado por caminhões do tipo basculante.

3.5.5.7 Monitoramento do destino final do lodo

O monitoramento é fundamental para garantir que os objetivos do tratamento e destino final sejam atendidos. Os parâmetros e a frequência de monitoramento devem ser definidos em função do destino pretendido e da tecnologia utilizada, sendo, em muitos casos, fixados por norma ou então definidos pelo órgão ambiental do estado (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

3.5.5.8 Rastreabilidade do lodo

Toda atividade relacionada ao lodo de esgoto deve receber controle permanente. Essa medida permite correlacionar lotes e áreas de aplicação com a máxima precisão possível, gerando dados que comprovem a viabilidade da reciclagem e assegurem a possibilidade de solucionar com presteza eventuais problemas, antes que estes se tornem permanentes.

3.5.5.9 Técnicas de remoção de lodo das lagoas

O registro sistemático de experiências práticas de retirada de lodo de lagoas é ainda reduzido. Gonçalves (2000) classifica as técnicas de remoção de lodo em mecanizadas e não mecanizadas, com paralisação ou não paralisação do funcionamento da lagoas e sugere como alternativas para desidratação do lodo: secagem natural na própria lagoa, utilização de leitos de secagem, de lagoas de lodo ou até mesmo a utilização de equipamentos mecânicos. A desativação temporária de uma lagoa pode ser uma medida operacional simples, se a etapa primária de lagoas foi projetada em módulos e se existe capacidade ociosa de tratamento. A paralisação de uma lagoa anaeróbia só deve acontecer com autorização do órgão ambiental. Gonçalves (2000) considera que, havendo capacidade de suporte do solo, o emprego de máquinas para retirada de lodo reduz muito o tempo dispendido nessa operação.

Segundo Gonçalves (2000), outras técnicas relacionadas para retirada de lodo das lagoas são: tubulação de descarga hidráulica do lodo; remoção através de caminhão limpa-fossa; dragagem; bombeamento a partir de balsa e sistema robotizado.

As principais vantagens e desvantagens das diferentes técnicas de remoção de lodo de lagoas citadas por Gonçalves (2000) são enumeradas nos Quadros 11 e 12, com pequenas alterações.

Quadro 11 Vantagens e desvantagens das técnicas de remoção de lodo de lagoas de estabilização com a desativação da lagoa

TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE LODO UTILIZADAS COM A DESATIVAÇÃO DA LAGOA		
TÉCNICA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Remoção manual	<p>A remoção da umidade é realizada na própria lagoa</p> <p>A limpeza da lagoa é realizada de forma controlada</p> <p>Lodo com altos teores de ST-menor custo de transporte</p> <p>Possibilita a remoção quase que completa de lodo</p>	<p>Desativação da lagoa durante um longo período</p> <p>Contato direto dos operários com o lodo</p>
Remoção mecânica do lodo (uso de tratores)	<p>A remoção da umidade é realizada in loco</p> <p>A limpeza da lagoa é realizada de forma controlada</p> <p>Lodo com altos teores de ST-menor custo de transporte</p> <p>Maior rendimento na remoção manual do lodo</p> <p>Possibilita a remoção quase que completa do lodo</p>	<p>Desativação da lagoa durante um longo período</p> <p>Possibilidade de demolição de parte do talude para o acesso das máquinas</p> <p>O fundo da lagoa pode ser danificado necessitando de reparos</p> <p>Possibilidade de o trator atolar no lodo</p>
Raspagem mecanizada e bombeamento	<p>Menor tempo de secagem de lodo na lagoa</p> <p>Possibilita a remoção quase que completa do lodo</p>	<p>Remove lodo ainda muito úmido</p> <p>Requer acesso de tratores na lagoa</p>

Fonte: Gonçalves (2000)

3.6 Legislação ambiental sobre resíduos sólidos

Apenas 50% da população brasileira é privilegiada com redes coletoras de esgoto e, do esgoto coletado, somente 20% recebe tratamento (IBGE, 2005). Diante dessa realidade, a preocupação dos gestores brasileiros volta-se basicamente para

a solução desse problema. Assim, adquirem prioridade ações destinadas a dotar os municípios de rede coletora de esgoto e de estações de tratamento.

Quadro 12 Vantagens e desvantagens das técnicas de remoção de lodo de lagoas de estabilização com a lagoa em funcionamento

TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE LODO UTILIZADAS COM A LAGOA EM FUNCIONAMENTO		
TÉCNICA	VANTAGENS	DESvantagens
Sistema de vácuo com caminhão limpa-fossa	Simplicidade operacional O equipamento é de fácil disponibilidade O lodo é removido e transportado na mesma operação	Retirada do lodo com maior frequência – requer baixos teores de ST Remove lodo úmido devido à mistura com esgoto durante a operação Lodo removido deverá exigir desidratação natural ou mecânica
Tubulação de descarga hidráulica	Simplicidade operacional Baixo custo	Entupimento do dispositivo de descarga Descarga deve ser realizada com maior frequência - baixos teores de ST Lodo removido deverá exigir desidratação natural ou mecânica Dificuldades no controle da operação de descarga
Dragagem	Possibilita a remoção quase que completa do lodo O lodo é retirado com elevada concentração de sólidos A limpeza pode ser realizada com menor frequência	Lodo removido deverá exigir desidratação natural ou mecânica Dificuldades no controle da operação de retirada do lodo Custo do equipamento
Bombeamento a partir de balsa	Simplicidade operacional O equipamento é de fácil disponibilidade	Retirada do lodo com maior frequência – requer baixos teores de ST Lodo removido deverá exigir desidratação natural ou mecânica Dificuldades no controle de operação de retirada do lodo
Sistema robotizado	Possibilita a remoção quase que completa do lodo Lodo com altos teores de ST diminui o custo com transporte Permite limpeza da lagoa com menor frequência	Custo do equipamento Disponibilidade do equipamento no Brasil

Fonte: Gonçalves (2000) com adaptações

No entanto, aumentar os sistemas de tratamento de esgoto implica elevar a produção de resíduos sólidos pelas ETEs, o que acarreta preocupação para os projetistas e operadores de sistemas. Os órgãos ambientais, o Ministério Público e diversos segmentos da sociedade passam a exigir soluções técnicas ambientalmente saudáveis para o destino dos resíduos produzidos. Em atendimento a essas exigências, foram criadas leis e normas que regulamentam a disposição e o uso dos resíduos sólidos produzidos nas ETEs, estabelecendo critérios com base no risco potencial para a saúde pública e do meio ambiente.

3.6.1 Leis federais

A Constituição Federal (BRASIL, 1988) é considerada por muitos ambientalistas um marco importante na política de proteção ao meio ambiente, por valorizar a participação da sociedade, prever a interação entre os poderes, a fiscalização pelo poder público e penas mais severas para o infrator. Alguns artigos da constituição, como os que seguem, tratam o tema de forma direta:

Artigo 23º – 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 225º – 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.

E, mesmo antes da Constituição de 1988, já havia leis e resoluções elaboradas com o objetivo de responder aos desafios relativos a resíduos sólidos produzidos pela comunidade:

- Lei n. 6.225, de 14 de julho de 1975, que dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão e dá outras providências (BRASIL, 1975);

- Lei n. 6.938, que disciplina a Política Nacional do Meio Ambiente–PNMA, estabelecendo objetivos e mecanismos para sua aplicação e dá outras providências (BRASIL, 1981);

- Decreto n. 97.632, que determina que os empreendimentos destinados à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental–EIA e do Relatório de Impacto Ambiental–RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente o Plano de Recuperação de Área Degradada–PRAD (BRASIL, 1989);

- Lei n. 9.605, de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais), que estabelece as variadas formas de agressões ambientais e atribui a elas sanções como detenção e multa (BRASIL, 1998);

Resolução n. 1, que trata dos Estudos de Impacto Ambiental–EIA e Relatórios de Impacto Ambiental–RIMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986);

- Resolução n. 5, segundo a qual ficam sujeitas a licenciamento as obras de sistemas de abastecimento de água, sistemas de esgotos sanitários, sistemas de drenagem e sistemas de limpeza urbana (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1988a);

- Lei n. 7.804, que disciplina o crime ecológico e altera a Lei n. 6.938 (BRASIL, 1989);

- Resolução n. 237, que estabelece definições e requisitos para o Licenciamento Ambiental (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1988b);
- Resolução n. 302, que dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Plano Ambiental de Conservação, recursos hídricos, floresta, solo, estabilidade geológica, biodiversidade, fauna, flora, recuperação, ocupação, rede de esgoto, entre outros (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002);
- Resolução n. 375, que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos e derivados, e dá outras providências (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006).

3.6.2 Leis estaduais

Decreto n. 1.745, de iniciativa do governo do Estado de Goiás, marca o pioneirismo em questão de legislação ambiental em Goiás. Esse decreto em vários artigos aborda o tema dos resíduos sólidos (GOIÁS, 1979).

A Constituição do Estado de Goiás promulgada em outubro de 1989 trata apenas das questões ambientais, não introduzindo em seus artigos a questão dos resíduos sólidos.

Em 2002, com a Lei n. 14.248, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências, o tema voltou a ser discutido, passando à responsabilidade dos municípios a gestão desses resíduos, com o Estado apenas como cooperador (GOIÁS, 2002).

A Lei n. 8.544 (GOIÁS, 1978) regulamentada pelo Decreto n. 1.745 (GOIÁS, 1979), dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no Estado de Goiás. Diversos artigos do título IV que tratam da poluição do solo:

Artigo 3º – Consideram-se poluentes todas e quaisquer formas de matéria ou energia lançada ou liberadas nas águas, no ar ou solo.

Artigo 57 – Não é permitido depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo, resíduos em qualquer estado de matéria, desde que sejam poluentes.

Artigo 58 – O solo poderá ser utilizado para o destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular.

Artigo 59 – Os resíduos de qualquer natureza, portadores de germes patogênicos, ou de alta toxicidade, bem como inflamáveis, explosivos, radioativos e outros prejudiciais, a critério da Agência Ambiental, deverão sofrer, antes de sua disposição final no solo, tratamento e/ou acondicionamento adequado, fixados em projetos específicos, que atendam aos requisitos de proteção do meio ambiente.

Artigo 60 – Ficam sujeitos à aprovação da Agência Ambiental os projetos específicos de tratamento, acondicionamento, transporte e disposição final de resíduos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção.

Artigo 61 – Somente será tolerada a acumulação temporária de resíduos de qualquer natureza na fonte de poluição ou em outros locais, desde que não ofereça risco de poluição ambiental.

Artigo 62 – O tratamento, quando for o caso, o transporte e a disposição de resíduos de qualquer natureza, de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, quando não forem de responsabilidade do Município, deverão ser feitos pela própria fonte de poluição.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização de parâmetros da ETE–Anápolis

4.1.1 Determinação da vazão média do esgoto sanitário

O cálculo da vazão média afluyente à ETE foi realizado considerando os dados de vazões dos boletins diários da SANEAGO–Anápolis. O período de análise estendeu-se de fevereiro de 2005 a janeiro de 2006. Foram somadas as 365 vazões de cada hora do dia e calculada a respectiva média horária. Depois de calcular as médias de vazão a cada hora do dia, foi possível determinar a vazão média horária no ano de 2005. Os dados relativos ao dia de maior contribuição e os atinentes à maior e à menor vazão em um dia do ano também foram obtidos nos referidos boletins.

4.1.2 Determinação dos coeficientes de variação de vazão

Os valores dos coeficientes de vazão K_1 , K_2 e K_3 , foram determinados utilizando a vazão média horária afluyente à ETE no ano de 2005, os dados relativos aos dias de maior e de menor contribuição do mesmo ano (ver 4.1.1) e aplicadas as equações 3.1, 3.2 e 3.3.

4.1.3 Caracterização física, química e bacteriológica do esgoto bruto

Tendo em vista a elaboração do plano de gerenciamento dos resíduos sólidos, foram escolhidos, na caracterização do esgoto bruto da ETE–Anápolis, parâmetros mais especificamente relacionados com esses resíduos: DBO_5 , DQO, pH, série de sólidos e coliformes termotolerantes. Para cada parâmetro foram

efetuados três ensaios, nos dias 9 de maio, 12 de maio e 22 de junho de 2006, após a coleta de amostra composta do esgoto bruto na calha Parshall.

Cada amostra composta foi constituída mediante a realização de 11 coletas na jornada-dia de experimento, no período compreendido entre as 7 h e as 17 h. Os volumes das amostras coletados a cada hora estão apresentados na Tabela 20. O esgoto coletado era depositado em um frasco de vidro de 2 L, armazenado em uma caixa térmica e coberto de gelo.

Tabela 20 Alíquotas de amostras de esgoto coletadas para amostragem composta

HORA DO DIA (h)	VAZÃO MÉDIA (L/s)	VOLUME COLETADO (mL)
7	200,45	127
8	201,36	128
9	216,39	138
10	246,18	157
11	282,96	180
12	305,26	194
13	322,90	206
14	336,53	214
15	340,80	217
16	341,45	217
17	347,22	221

O volume total da amostra (V) foi de 2 L. Para a estimativa das alíquotas individuais (V_i) para compor a amostra composta, foi utilizada a vazão média anual da hora da coleta (Q_i) (valores apresentados na Tabela 49 do Apêndice B), e aplicada a equação 4.1.

$$V_i = (Q_i \times V) / \sum Q_i \quad (4.1)$$

Em que:

V_i – volume coletado por hora (mL)

Q_i – vazão média de esgoto na hora da coleta

V – volume total da amostra

$\sum Q_i$ – somatório das vazões médias

Os parâmetros pesquisados, o tipo de análise efetuada e os métodos analíticos utilizados obedecem ao estabelecido no *Standard Methods of Water and Wastewater*, descrito por Clesceri et al. (1999).

4.1.4 Eficiência na remoção de DBO e coliformes termotolerantes nas lagoas de estabilização

Foram realizados três experimentos, com a coleta de amostra simples nos mesmos dias em que se fizeram os experimentos no esgoto bruto. Foi coletado esgoto do efluente das lagoas anaeróbias, aeradas e facultativas para análise de DBO_5 e coliformes termotolerantes. Os métodos de análise empregados foram os de Clesceri et al. (1999): DBO (diluição e incubação) e coliformes termotolerantes (tubos múltiplos em meio A1). As análises foram realizadas no laboratório da ETE da SANEAGO–Goiânia.

4.2 Caracterização dos resíduos retidos nas grades

4.2.1 Composição gravimétrica

A determinação da composição gravimétrica do material retido nas grades teve dupla finalidade. A primeira foi conhecer os costumes da população da cidade de Anápolis no tocante ao lançamento de sólidos grosseiros. E a segunda,

quantificar o material retido, de modo a constituir um parâmetro para o plano de gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na ETE–Anápolis.

O material retido foi separado conforme sua natureza e composição, formando os seguintes grupos:

- plásticos e papéis – garrafas PET, preservativos, copos descartáveis, invólucros de chocolate e de bala;
- material têxtil – pano, estopa;
- material orgânico – restos de frutas e verduras, animais mortos, pedaços de gordura empedrada, folhas e galhos de árvore;
- areia, pedriscos, silte, escórias e cascalhos que ficavam retidos entre plásticos e material têxtil;

O material retirado mecanicamente na grade fina, ou com o auxílio de um ancinho na grade grosseira, foi disposto sobre um piso de concreto próximo das grades.

As Fotografias 6 e 7 mostram, respectivamente, uma vista geral do gradeamento fino e do processo de separação dos materiais retidos.

Para a caracterização volumétrica do material retido nas grades foi utilizado um tambor de plástico (Fotografia 8) com as seguintes especificações:

- volume: 50 L
- altura do tambor: 70 cm
- diâmetro: 40 cm
- graduação: a cada 2 L



Fotografia 6 Vista do gradeamento fino da ETE–Anápolis



Fotografia 7 Vista do material retirado das grades finas



Fotografia 8 Vista do tambor e da balança utilizados na caracterização do material retido nas grades finas

Utilizou-se uma balança com capacidade para 100 kg, aferida mediante o emprego de uma barra de ferro de 1,00 kg em balança calibrada pelo IMETRO. Seguindo a classificação anterior, cada tipo de material foi posto no tambor de 50 L e pesado consecutivamente. A areia retida nas grades era caracterizada assim que se retiravam os demais materiais do piso de concreto.

A coleta do material gradeado foi realizada nos horários regulares da operação de limpeza diária promovida pela SANEAGO, 8 h e 17 h.

Como nos dias sem chuva a quantidade de material retido na grade grosseira era muito pequena, foi providenciado um tambor de 5 L para verificar o volume retido nesses dias. A graduação do recipiente de 5 L foi feita com intervalos de 0,5 L e, para que o material não ficasse muito disperso, o recipiente foi suspenso e solto de uma altura de 20 cm três vezes em cada medição.

4.2.2 Influência das chuvas nas características dos materiais retidos nas grades

Após intensas precipitações há maior volume de sólidos retidos nas grades de ETEs, conforme demonstra a literatura especializada. Foram realizados ensaios nos períodos de chuva e de estiagem a fim de verificar o impacto desse fenômeno na ETE–Anápolis.

A consulta aos estudos das precipitações pluviométricas nos últimos 5 anos em Anápolis, realizados pela Secretaria de Ciência e Tecnologia de Goiás, forneceu a informação de que a média de dias chuvosos na cidade era de 70 dias por ano. Foram considerados dias chuvosos aqueles com precipitações acima de 5 mm, haja vista a dificuldade para relacionar precipitação com a sub-bacia de contribuição de esgoto e vazão afluente à ETE. Na Tabela 55 (Apêndice C) são apresentadas todas as precipitações do ano de 2005, confirmando a média de 70 dias de precipitação por ano (aproximadamente 20% dos dias do ano), e na Tabela 56 (Apêndice C) são apresentados os totais de dias em que as precipitações ultrapassaram 5 mm, entre 2001 e 2005.

Durante os experimentos preliminares, observou-se que, após intensas precipitações, havia um aumento acentuado na quantidade de material retido nas grades e a vazão afluente ultrapassava 500 L/s. Os boletins de vazões da ETE–Anápolis mostraram que tal fenômeno ocorreu 22 vezes no ano de 2005. Foi definido como dia de intensa precipitação sobre as bacias de contribuição de esgoto aquele em que a vazão de esgoto na ETE ultrapassava o valor de 500 L/s.

Estabeleceu-se a realização de três experimentos por mês, totalizando 36 eventos experimentais no ano de 2005. Tendo em vista a correlação entre dias sem

chuva e dias chuvosos – 80% e 20%, respectivamente – optou-se por fazer 30 ensaios em dias sem chuva e 6 ensaios em dias chuvosos. Para verificar o impacto de intensas precipitações no volume de materiais retidos nas grades, foram realizados mais 6 experimentos em dias com intensas precipitações.

Para calcular a taxa de material retido em relação ao volume de esgoto tratado nos três cenários mencionados acima, foram consideradas as respectivas vazões em cada período, as quais se encontram no Apêndice B. O valor da vazão média para o período sem chuva foi calculado com base nos valores de vazões de maio a outubro, meses com baixas precipitações na cidade de Anápolis. Os valores das vazões no período de chuva foi calculado com base nas médias obtidas dos valores extraídos dos boletins da ETE–Anápolis nos dias em que foram feitos os experimentos. O mesmo aconteceu para vazões nos dias de intensas precipitações.

Não foram realizados ensaios aos sábados, domingos e segundas-feiras, uma vez que não havia operações regulares de limpeza nos finais de semanas, razão pela qual os resultados obtidos nas segundas-feiras poderiam estar comprometidos.

4.2.3 Influência do número de limpezas no volume retido na grade fina

Para avaliar se a periodicidade de limpezas nas grades influía no quantitativo de volume de material retido, foram realizados cinco experimentos em dias sem chuvas, com a retirada do material a intervalos regulares de 1 h, no espaço temporal compreendido entre as 8 h e as 17 h. A medição do volume de material retido a cada hora foi feita com o mesmo tambor de 50 L do experimento anterior. No final de cada jornada, fazia-se a soma dos volumes registrados a cada hora. Posteriormente, esta

soma foi comparada com a média dos volumes retidos nos 30 experimentos dos dias sem chuvas.

4.3 Caracterização dos resíduos retidos no desarenador

A areia retirada dos desarenadores era depositada no piso de concreto ao lado destes (Fotografia 9). Na caracterização volumétrica foi utilizado o mesmo tambor de 50 L usado no experimento com material de grades. Cada carga, de 50 L de areia, era pesada e, no final do experimento diário, fazia-se a média aritmética das medições. Foi realizado um total de 42 ensaios, seguindo o mesmo calendário utilizado para a caracterização do material retido nas grades.



Fotografia 9 Vista do depósito de areia retirada do desarenador

Cinco experimentos foram realizados com amostras compostas de um litro de areia, em diferentes dias da semana, a fim de pesquisar: teor de umidade, sólidos voláteis e sólidos fixos. A coleta da amostra composta de areia depositada no piso de concreto foi realizada retirando cinco porções (de volume aproximado de 200 mL cada), duas retiradas do terço inferior do monte de areia, duas porções do terço médio e a última do terço superior.

As amostras de areia foram enviadas para o laboratório de solos da UFG para determinação da composição gravimétrica do material retido no desarenador. A análise não pôde ser executada, segundo técnicos do laboratório, devido à presença de matéria orgânica no material retido e à forma muito variada do material retido.

As análises físico-química e bacteriológica foram efetuadas conforme preconizam Clesceri et al. (1999).

4.4 Caracterização do lodo das lagoas de estabilização

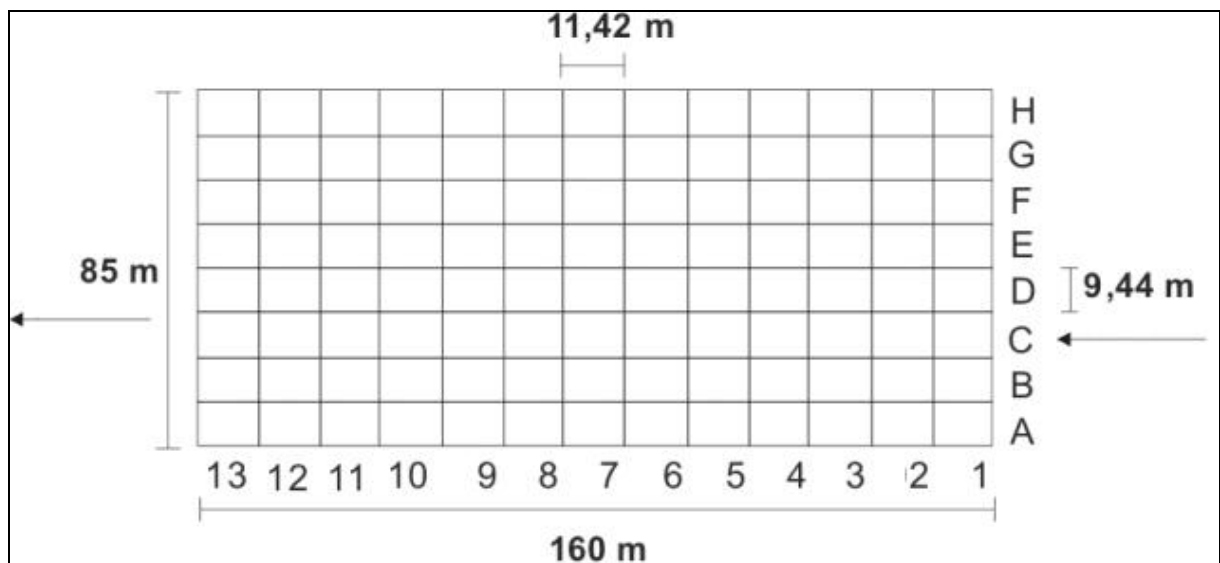
4.4.1 Demarcação das seções batimétricas

A altura da camada de lodo nas lagoas foi determinada por batimetria. Cada lagoa foi dividida em seções batimétricas com espaçamentos constantes, demarcadas com piqueteamento. As dimensões das lagoas no nível do espelho d'água e os espaçamentos para determinação das seções batimétricas em cada tipo de lagoa encontram-se no Quadro 13. A marcação de cada ponto de medição foi feita no concreto de proteção dos taludes, com giz de cera e uma trena de 20 m, respeitando os espaçamentos definidos para cada lagoa. As marcações foram feitas no sentido do comprimento das lagoas. No Esquema 4, encontra-se o esquema das seções para a medição das alturas de lodo na lagoa anaeróbia.

Foi estendida uma linha de *nylon* (com espessura de 1 mm) presa a dois ganchos de ferro dobrados e fixados nas extremidades dos taludes da lagoa, nos locais que definiam as seções batimétricas. A linha foi colocada no sentido da menor dimensão da lagoa. Nos pontos de medição do lodo, foram amarradas na linha de *nylon* fitas coloridas para orientar o local correto de leitura.

Quadro 13 Detalhes das dimensões e das seções batimétricas de cada lagoa

TIPO DE LAGOA	DIMENSÕES (m x m)	ESPAÇAMENTO ENTRE SEÇÕES (m)		TOTAL DE PONTOS UTILIZADOS NA BATIMETRIA
		SENTIDO DO COMPRIMENTO	SENTIDO DA LARGURA	
Anaeróbia	160,00 x 85,00	11,42	9,44	104
Aerada	251,50 x 129,50	19,34	14,39	96
Decantação	308,75 x 108,75	16,25	12,08	144



Esquema 4 Seções batimétricas para a medição das alturas de lodo nas lagoas anaeróbias

4.4.2 Medição das alturas de lodo

Os experimentos de medição do lodo das lagoas anaeróbias foram iniciados no dia 15 de maio de 2006 e só se completaram no final do mês de junho do mesmo ano. Para realizar a leitura das alturas de lodo em cada ponto, utilizou-se a mesma canoa usada na manutenção da ETE. Duas pessoas embarcavam na canoa – uma cuidava do remo, outra da medição – e uma terceira pessoa ficava no talude da lagoa, anotando as leituras de alturas de lodo realizadas. Logo após as primeiras medições, a linha de *nylon* usada para demarcar as seções batimétricas serviu de apoio para o deslocamento da canoa, dificultado pela ação do vento intenso. Esse procedimento possibilitou a realização do trabalho com mais rapidez e maior precisão.

A operação para medição da profundidade do lodo pode ser vista na Fotografia 10. Com as informações obtidas e as formas geométricas da lagoa, foi possível calcular o volume de lodo depositado em cada unidade.



Fotografia 10 Vista da medição da altura de lodo em lagoa da ETE–Anápolis

Como teoricamente em lagoa aerada não deve haver lodo, definiu-se por aferir o volume depositado apenas nas lagoas anaeróbias e de decantação. Porém, as investigações preliminares indicaram que praticamente não havia depósito de lodo nas lagoas de decantação. Em vista desse fato, a opção foi verificar também a possível quantidade de lodo depositado nas lagoas aeradas. A medição das alturas do lodo foi realizada com o aparelho de aferição de lodo *sludge judge*. Para comprovação das medidas, foi utilizado um aparelho de fabricação doméstica com haste de PVC presa a um disco de fibra de vidro. A descrição de cada aparelho, com sua respectiva operação, é apresentada a seguir.

a) Aferidor de lodo (*sludge judge*)

Aparelho de fabricação americana, composto de três hastes de plástico de 1,5 m de comprimento cada, graduadas em escala de 1 cm e com diâmetro de $\frac{3}{4}$ " (Fotografia 11). O tubo inferior tem uma válvula de retenção na ponta final e uma rosca macho na outra ponta para conectar com o tubo do meio, o qual tem uma rosca fêmea na extremidade inferior e uma rosca macho na superior para conectar com o tubo que lhe é superposto. O tubo superior tem rosca fêmea na extremidade de baixo e uma corda na outra com 0,825 m de extensão.

O aparelho era abaixado lentamente até o fundo da lagoa, no ponto exato em que se desejava fazer a leitura da altura do lodo. Quando o fundo do tanque era atingido, puxava-se o tubo pela corda, o que fazia com que a válvula de retenção fosse acionada, mantendo a coluna de lodo dentro do aparelho. Ao puxar o aparelho para fora da lagoa, era possível fazer a leitura da camada de lodo retida no interior da tubulação de plástico. A retirada do lodo de dentro do aparelho era realizada após tocar a válvula da extremidade (Fotografia 12).



Fotografia 11 Vista do aparelho *sludge judge*



Fotografia 12 Vista da operação de medição de lodo com o *sludge judge*

b) Haste de PVC com disco

Esse aparelho foi utilizado com sucesso por Gonçalves (2000) na medição de lodo em lagoas do Espírito Santo. É um aparelho simples, confeccionado com tubo de PVC de 40 mm para esgoto, soldado a um disco de fibra de vidro de 30 cm de diâmetro. Foram feitos no disco seis furos eqüidistantes de ½” e o tubo recebeu graduação a cada centímetro a partir do disco, em cor azul, e graduação a cada centímetro a partir da extremidade oposta ao disco em cor vermelha. Detalhes do aparelho podem ser vistos na Fotografia 13.



Fotografia 13 Vista da haste de PVC com disco de fibra de vidro

A primeira providência para a medição utilizando esse aparelho era introduzir o tubo até o fundo da lagoa pela extremidade oposta ao disco para aferir a altura da

lagoa (escala vermelha). Para medir a altura do lodo em um ponto da lagoa, o aparelho era mergulhado pela extremidade com o disco, de modo que, ao encontrar a camada de lodo, cessava a descida do tubo e, então, fazia-se a leitura na escala azul. A altura do lodo em determinado ponto correspondia à diferença entre as duas alturas.

Para calcular o volume de lodo depositado nas lagoas, fez-se a média das alturas lidas com os aparelhos e multiplicou-se essa altura pela área do fundo da lagoa. Foi utilizado também o programa SUFER 8.0 para cálculo dos respectivos volumes de lodos depositados. O mesmo programa foi também utilizado para mostrar a distribuição de lodo por todas as lagoas. O valor da taxa volumétrica *per capita* foi obtido com a divisão do volume de lodo acumulado nas lagoas por 16 anos (tempo de operação da lagoa) e dividido ainda por 365 dias. O resultado foi novamente dividido pela média das populações servidas no período de 1990 a 2005, utilizando os dados da Tabela 5. O valor correspondente à população servida no ano de 2005 foi estimado com base na taxa de crescimento do atendimento com coleta de esgoto do último ano.

4.4.3 Caracterização qualitativa

Uma amostra composta, constituída por lodo de cinco locais diferentes de cada lagoa, foi coletada usando o aparelho *sludge judge*. Os cinco locais foram determinados de tal forma que um ponto de coleta foi no centro da lagoa e os outros quatro pontos equidistantes do centro. Os pontos de coleta de lodo (4C, 4F, 7E, 10C, 10F) podem ser vistos na Figura 14. Foram retirados, aproximadamente, 200 mL de lodo por ponto de coleta, totalizando 1.000 mL de amostra por lagoa. O volume de lodo coletado foi depositado em dois frascos plásticos de 500 mL cada.

Um frasco foi enviado para o laboratório de esgoto da ETE–Goiânia (SANEAGO), para análise de sólidos totais, fixos e voláteis e ovos de helmintos. A análise de sólidos totais e voláteis e de ovos de helmintos foi feita de acordo com Clesceri et al. (1999). O outro frasco foi remetido para o Fundo de Fomento de Mineração–FUMMINERAL, em Goiânia, para análise de metais. Esta foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

4.5 Alternativas técnico-econômicas para a destinação final de resíduos sólidos

O plano de gestão para os resíduos sólidos retidos na ETE–Anápolis reflete a análise atual do sistema, em relação aos estudos encontrados na literatura especializada e em face da realidade retratada pelos operadores da ETE.

Além da pesquisa bibliográfica, foram realizadas, por Internet e telefone, consultas às empresas de saneamento que atuam na gestão de ETEs no Brasil, tendo como enfoque principal a gestão do lodo.

4.5.1 Resíduos do tratamento preliminar

Depois de quantificar e analisar o material retido nas grades e no desarenador, foi proposta uma forma de gerenciamento abrangendo: coleta, acondicionamento, transporte e destino deste material, e, observando a legislação ambiental específica.

A avaliação de custos para depósito e transporte dos resíduos gerados no tratamento preliminar foi feita por meio da cotação de aluguel de caminhão contêiner

em três empresas especializadas na cidade de Anápolis. O custo para se lançar, no Aterro Sanitário Municipal, os resíduos recolhidos foi fornecido pela gerência deste.

4.5.2 Lodo das lagoas

Com os resultados do volume de lodo existente em cada lagoa e sua caracterização qualitativa, foi possível propor soluções para a higienização do lodo, quando necessário, bem como para o desaguamento, a retirada, o transporte e a destinação dele. Para a disposição final desses resíduos, foram analisadas as propostas que pareceram mais adequadas para a região de Anápolis:

- a) disposição no Aterro Sanitário Municipal de Anápolis;
- b) disposição em áreas degradadas;
- c) uso na agricultura.

Alguns cenários foram estabelecidos, a fim de se escolher a melhor técnica com o menor custo. Foram estudadas as seguintes alternativas:

- a) retirada do lodo sem retirar a lagoa de operação;
- b) interrupção do fluxo de esgoto para a lagoa a ser limpa no início do mês de abril, com recalque do líquido superficial da lagoa até o nível a atingir a camada de lodo. Operação de limpeza do lodo no mês de outubro, dependendo dos seguintes valores para umidade da torta de lodo:

- umidade abaixo de 70%, utilização de pás carregadeiras e caminhões basculantes;

- umidade entre 80% e 90%, utilização de caminhões limpa-fossa.

A estimativa do volume do lodo das lagoas após o desaguamento foi realizada conforme Andreoli, Sperling e Fernandes (2001), considerando a variação do volume de lodo em função do teor de sólidos. O teor de sólidos considerado para início da operação de desaguamento foi o obtido nos ensaios realizados, anteriormente, nesta pesquisa, com as amostras do lodo das lagoas. O teor de sólidos estimado para o final do desaguamento levou em conta: a) observações de experiências similares com lodo de estações de tratamento de água–ETAs, em que este é lançado em lagoas de secagem; b) a experiência feita por Gonçalves (2000) em lagoas de ETEs do Espírito Santo e c) condições apresentadas pelo lodo da ETE–Distrito Agroindustrial de Anápolis após desaguamento em lagoas de secagem.

Para efeito de orçamento, a umidade do lodo foi considerada próxima de 75%. Os valores que compuseram a planilha de custos de higienização, carregamento, transporte e disposição do lodo foram obtidos conforme se descreve a seguir:

- Cal hidratada – valor pago pela SANEAGO em Goiânia no ano de 2006;
- Trator, caminhão basculante e pá carregadeira – valor cotado em três empresas especializadas em transporte e máquinas pesadas, sediadas em Anápolis no ano de 2006;
- Disposição do lodo – o mesmo valor praticado pela SANEAGO para espalhamento do lodo gerado na ETE Hélio de Brito (Goiânia). O lodo gerado nessa ETE, após tratamento primário e adição de produtos químicos, passa por centrífuga. O destino desse lodo é a recuperação de áreas degradadas (antigas jazidas de cascalho) situadas no município de Abadia de Goiás, a 25 km de distância da ETE;

- Monitoramento da área recuperada – o mesmo valor da planilha da SANEAGO para a recuperação de área degradada no município de Abadia de Goiás;

- Disposição em aterro sanitário no município de Anápolis – valor orçado pela Secretaria de Infra-Estrutura da Prefeitura Municipal por tonelada depositada;

- Caminhão limpa-fossa – valor cotado em 2006, em três empresas que operam com caminhões limpa-fossa em Anápolis, considerando o custo por viagem, a retirada do lodo da lagoa e o transporte até o aterro sanitário municipal.

Após estudos técnicos e financeiros das alternativas apresentadas, foi possível sugerir a melhor solução para desaguamento, retirada e destinação para o lodo gerado nas lagoas de Anápolis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Vazão média na ETE

A vazão média de esgoto para o ano de 2005 foi de 284,5 L/s para ETE–Anápolis–GO. A variação da vazão média horária encontra-se apresentada na Tabela 49 (Apêndice B). Esse resultado para a vazão média no ano de 2005 apresenta valor muito inferior ao de 1.106 L/s, estimado para o ano de 2004 na época de elaboração do projeto, como se pode ver na Tabela 3. Analisando-se os parâmetros que influenciaram na determinação de vazão média (população, consumo *per capita*, taxa de infiltração e coeficiente de retorno) na época de projeto, pode-se considerar:

- consumo *per capita* – no projeto da ETE–Anápolis, foi adotado o valor de 200 L/s para consumo *per capita*. Esse valor, comparado com o volume médio de água faturado em Anápolis, que é de 114,5 L/s, como se verifica nos boletins da SANEAGO, apresenta majoração de 74,67% (SANEAMENTO BÁSICO DE GOIÁS, 2005).

- população – o índice de crescimento populacional estimado por ocasião do projeto não se confirmou na realidade, como mostram os dados censitários do IBGE (2005) relativos ao ano de 2004, ano de alcance do projeto. A população total projetada para o ano de 2004 era de 460.707 habitantes, enquanto a população real apurada pelo IBGE (2005) foi de 307.977 habitantes. Assim, a ETE–Anápolis, foi projetada para atender 309.827 habitantes até 2004; porém, naquele ano, apenas 169.000 habitantes eram atendidos por rede coletora de esgotos.

- taxa de infiltração – foi adotado no projeto o valor de 0,05 L/s. km para a taxa de infiltração. A vazão de infiltração no projeto para 2004 correspondeu a 85,81% da vazão média.

A SANEAGO adotou para a taxa de infiltração o valor de 25% da vazão média de esgoto doméstico nos projetos do Programa de Ação Social (PASS/BID) (SANEAMENTO BÁSICO DE GOIÁS, 1998). Se na época de elaboração do projeto da ETE, os projetistas adotassem o valor recomendado pelos técnicos do BID, a contribuição devido a taxa de infiltração cairia para 143,43 L/s.

Os dados atuais retirados dos boletins de Saneamento Básico de Goiás, (2005) referentes ao sistema de esgoto doméstico de Anápolis são os seguintes:

- população servida – 169.523 hab;
- consumo *per capita* – 114,5 L/dia.

A vazão média, caso fossem adotados esses parâmetros, na mesma seqüência adotada no projeto do sistema de esgoto de Anápolis e aplicando a equação 3.4, seria:

$$Q \text{ média} = 0,8 \times 169.523 \times 114,5 / 86.400 = 179,72 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ infiltração} = 0,25 \times Q \text{ médio} = 44,93 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ indústria (do projeto)} = 40,69 \text{ L/s}$$

$$Q \text{ média total} = Q \text{ média} + Q \text{ infiltração} + Q \text{ indústria} = 265,34 \text{ L/s.}$$

Como se pode observar, a vazão média calculada com os dados atualizados está muito próxima do valor encontrado em campo, por este estudo, no ano de 2005.

5.2 Coeficientes de variação de vazão

5.2.1 Coeficiente do dia de maior consumo (K_1)

A vazão máxima diária de esgoto, no ano de 2005 ocorreu no dia 9 de dezembro, perfazendo 674 L/s (Tabela 50, Apêndice B).

O valor de K_1 , considerando o valor da vazão média de 284,5 L/s (2005) e aplicando a equação 3.1 foi de 2,37.

No Gráfico 2, encontram-se apresentados os valores de consumos diário de todo o ano de 2005, comparados à vazão média de 284,5 L/s.

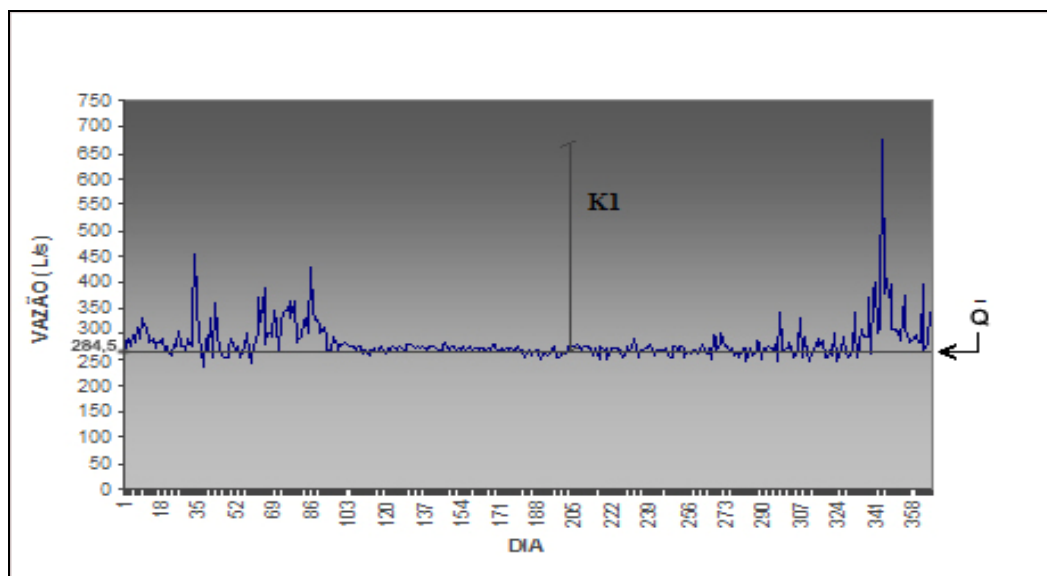


Gráfico 2 Variação da vazão de esgoto ao longo dos dias do ano de 2005, em função da vazão média horária, obtida para a ETE–Anápolis

O valor de K_1 de 2,37 é 97,5% superior ao valor 1,2 referido pela NBR 9649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986).

A provável explicação para essa diferença é que em dias de intensas precipitações o sistema de coleta de esgoto recebe contribuição de vazões provenientes de infiltrações e de lançamentos clandestinos. Logo após intensas

precipitações, a vazão que chega à ETE aumenta de tal forma que é preciso acionar o *bypass* (Fotografia 14). Assim, grande parcela do esgoto bruto é lançada no Córrego das Antas sempre que a vazão afluyente ultrapassa 1.000 L/s.



Fotografia 14 Vista parcial do *bypass* a montante do poço de sucção, após intensas precipitações

Esse problema foi constatado especialmente nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2006 – período de grandes precipitações sobre a cidade de Anápolis – pela equipe responsável pela operação da rede de esgotos local. Após fortes chuvas, o número de reclamações de usuários, alegando obstruções nas redes, quadruplicou. A maioria dessas obstruções devia-se ao aporte de água pluvial não suportada pelo sistema coletor. Muitos moradores de Anápolis fazem o lançamento das águas pluviais coletadas em seus prédios e lotes nas caixas de passagem de esgoto sanitário. Embora haja na cidade um distrito industrial, onde se concentram

grandes indústrias, este não influencia os dados da ETE, pois o parque industrial é servido por sistema independente de coleta e tratamento de esgoto.

5.2.2 Coeficiente da hora de maior consumo (K_2)

Quando a vazão de esgoto afluente à ETE–Anápolis alcança 1.000 L/s, o excedente passa pelo *bypass*, o que impossibilita a leitura de vazões superiores a esse valor. Em face disso, adotou-se como maior vazão horária o valor de 1.000 L/s. Para efeito de cálculo, foi escolhido o dia 9 de dezembro de 2005 como o de maior vazão horária, já que esse dia apresentou a maior média de vazão do mesmo ano. Esses valores estão apresentados na Tabela 50 (Apêndice B).

Aplicando-se a equação 3.2, o valor de K_2 foi de 1,50, resultado que pode ser conferido no Gráfico 3, o qual apresenta a maior vazão registrada na ETE, assim como a vazão média registrada no mesmo dia. O valor calculado de K_2 ficou muito próximo daquele adotado no projeto e do valor 1,5 referido pela NBR 9649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986).

5.2.3 Coeficiente da hora de menor consumo (K_3)

Para o cálculo de K_3 , foram observadas a menor vazão horária no ano de 2005 (149 L/s) e a respectiva média horária no mesmo dia, referente ao dia 2 de março de 2005, às 6 h (Tabela 51 – Apêndice B). A vazão média no mesmo dia foi de 296,5 L/s e, K_3 , aplicando a equação 3.3 foi de 0,5. Esse valor foi igual ao adotado no projeto e o mesmo recomendado pela NBR 9649 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986).

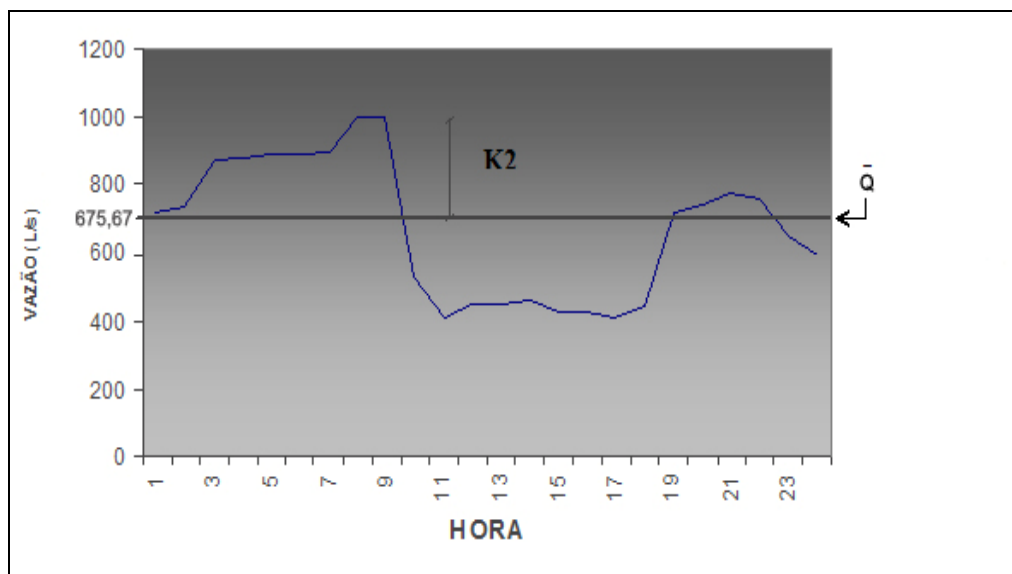


Gráfico 3 Variação da vazão afluyente no curso do dia de maior geração de esgoto em 2005, em função da média de vazão no mesmo dia, para a ETE–Anápolis

No Gráfico 4, encontra-se a menor vazão observada no dia de menor geração de esgoto, assim como a vazão média observada no mesmo dia. No ano de 2005, os valores dos coeficientes de variação de vazão de esgoto obtidos para a ETE–Anápolis foram: $K_1 = 2,37$; $K_2 = 1,50$; e $K_3 = 0,50$.

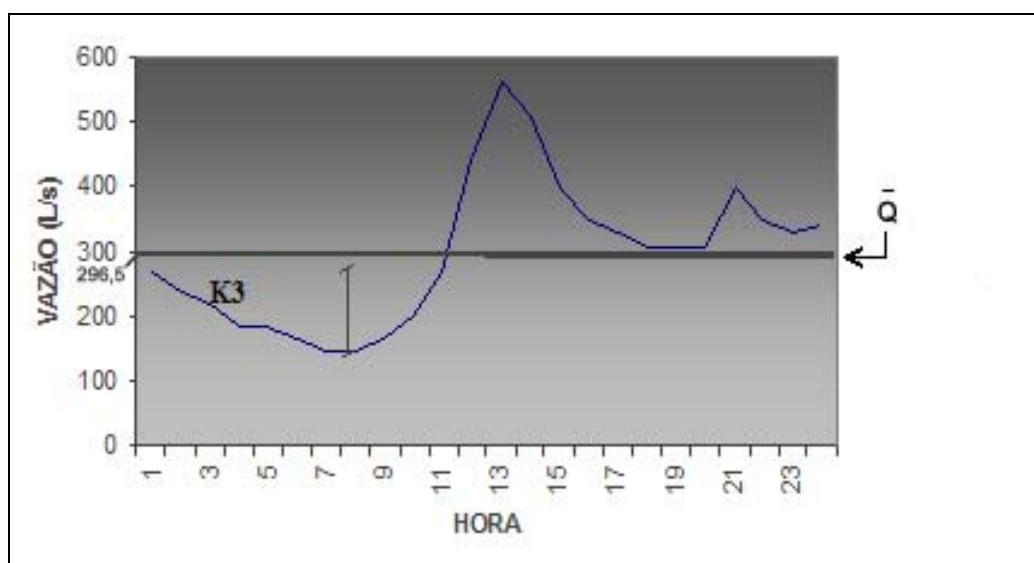


Gráfico 4 Variação da vazão afluyente no curso do dia de menor geração de esgoto em 2005, em função da média de vazão no mesmo dia, para a ETE–Anápolis

5.3 Determinação da carga orgânica afluyente ao sistema de tratamento

A carga orgânica total afluyente à ETE–Anápolis foi de 7.055 kg/dia e a carga orgânica por lagoa anaeróbia, de 1.764 kg/dia. Esses valores foram obtidos mediante a aplicação da equação 3.7, sendo a concentração do esgoto de 287 mg/L e a vazão de 24.580,8 m³/dia.

5.4 Taxa de aplicação volumétrica

A taxa de aplicação volumétrica relaciona a carga orgânica com o volume da lagoa. O valor obtido para ETE–Anápolis foi calculado pela equação 3.8, uma vez que o volume de uma única lagoa foi de 45.000 m³, pode-se concluir que a taxa de aplicação volumétrica para a lagoa anaeróbia foi de 0,04 kg DBO₅/m³dia.

5.5 Cálculo do tempo de detenção hidráulica da lagoa anaeróbia

O tempo de detenção hidráulica–TDH para lagoas relaciona o volume da lagoa com a vazão afluyente diariamente. No caso, o valor obtido para uma lagoa anaeróbia foi calculado pela equação 3.9, uma vez que o volume de uma única lagoa foi de 45.000 m³ e a vazão afluyente a ela foi de 6.145,2 m³/dia; pôde-se concluir que o TDH foi de 7,32 dias.

O valor calculado de 7,32 dias para TDH nas lagoas anaeróbias, relativo ao ano de 2005, está acima do que é citado por Sperling (1996b), que é de três a seis dias. O sistema entrou em operação no ano de 1989, e, nesse período, a vazão sempre foi menor do que a atual, o que implica a suposição de tempos de detenção ainda maiores. Nessas condições, a ETE–Anápolis operou com baixa carga.

5.6 Cálculo do tempo de detenção hidráulica na lagoa facultativa aerada

O valor do TDH obtido para as lagoas facultativas aeradas foi determinado utilizando a equação 3.9. Dessa forma, obteve-se o seguinte valor para esse parâmetro:

$$\text{TDH} = 89.304/12.329 = 7,24 \text{ dias}$$

Sperling (2006a) considera que valores entre 5 a 10 dias são razoáveis para o funcionamento de lagoas aeradas. O valor obtido no sistema de Anápolis demonstra que a lagoa aerada opera dentro de limites razoáveis de funcionamento.

5.7 Cálculo do tempo de detenção hidráulica para as lagoas de decantação

O valor do TDH obtido para a lagoa de decantação, utilizando a equação 3.9, foi de:

$$\text{TDH} = 105.000/12.329 = 8,52 \text{ dias}$$

Sperling (1996a) recomenda adotar TDH < 2,0 dias, no final de plano, para evitar o crescimento de algas. O valor obtido na lagoa de decantação de Anápolis está muito acima do mencionado por Sperling (1996a). Provavelmente, é este o fator que tem provocado o surgimento de algas nessas lagoas.

5.8 Cálculo da densidade de potência dos aeradores para as lagoas facultativas aeradas

A densidade de potência (Φ), que representa a energia introduzida pelos aeradores por unidade de volume da lagoa ($89,304 \text{ m}^3$), obtida pela equação 3.10 e considerando 8 aeradores por lagoa com capacidade de 30 cv cada, foi de:

$$\Phi = (8 \times 22,38 \text{ kw}) / 89.304 = 2 \text{ W/m}^3$$

Para se assegurar uma dispersão completa dos sólidos em suspensão na lagoa aerada, deve-se ter uma densidade de potência com as seguintes características: $\Phi \geq 3,0 \text{ W/m}^3$ (SPERLING, 1996a). Os resultados apresentados para a densidade de potência nas lagoas aeradas da ETE–Anápolis (2 W/m^3) comprovam que estas operam como lagoas facultativas aeradas.

5.9 Caracterização do esgoto da ETE–Anápolis

Na Tabela 21 são apresentados os resultados obtidos das análises de DBO no esgoto bruto, cuja concentração média foi de 287 mg/L, podendo ser considerados médios em relação a outros sistemas similares. A concentração típica dos esgotos brutos, segundo Sperling (1996a), é da ordem de 300 mg/L. Os valores da DQO, cuja média nesta pesquisa apresentou valor de 633 mg/L, são compatíveis com os encontrados na literatura científica. Sperling (1996a) considera que a relação DQO/DBO_5 varia em torno de 1,7 a 2,4. Por essa razão, é de se esperar DQO do esgoto bruto próximo a 600 mg/L. A concentração de sólidos (totais, voláteis, fixos e suspensos) encontrada no esgoto bruto da ETE–Anápolis foi o parâmetro que apresentou menor valor em relação ao que é mencionado na literatura consultada.

A temperatura média de 25°C encontrada para o esgoto bruto indica valor compatível com a referência de Jordão e Pessoa (2005), variando de 20°C a 25°C. O valor de pH de 6,89, que se aproxima da referência de 7,00, encontrada em Sperling (1996a), indica que a ETE–Anápolis está operando na faixa apropriada para o tratamento biológico do esgoto. No Gráfico 5 são apresentados valores de DBO, DQO, ST, SV e SF, obtidos na ETE–Anápolis e valores típicos citados na literatura.

Tabela 21 DBO₅, pH e sólidos presentes no esgoto bruto em amostra composta

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO				
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA	TÍPICA ¹
DBO ₅ (mg/L)	285	285	290	287	300
DQO (mg/L)	659	601	640	633	600
Sólidos totais (mg/L)	611	572	584	589	1100
Sólidos totais voláteis (mg/L)	340	315	320	325	620
Sólidos totais fixos (mg/L)	271	257	264	264	480
Sólidos totais suspensos (mg/L)	216	248	227	230	400
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	192	188	193	191	320
Sólidos suspensos fixos (mg/L)	24	60	34	39	80
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	4	4	4	4	15
Temperatura (°C)	26	25	24	25	25
pH ²	6,86	6,92	6,90	6,89	7,00

¹ Valores apresentados por Sperling (1996a)

² Intervalo

5.10 Eficiência da ETE–Anápolis

5.10.1 Eficiência na remoção de DBO

A remoção de DBO em cada unidade de tratamento biológico apresentou resultados compatíveis com os valores citados na literatura técnica, conforme mostram os dados da Tabela 22. Sperling (1996a) considera a eficiência de remoção de DBO para lagoas anaeróbias da ordem de 50% a 60%, o que se confirmou no presente estudo.

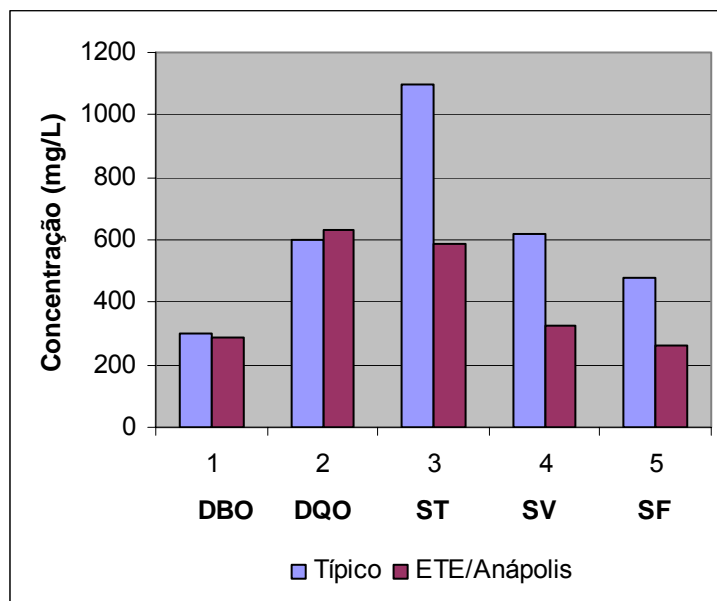


Gráfico 5 Comparação da composição do esgoto da ETE–Anápolis com parâmetros citados na literatura

Tabela 22 Eficiência na redução de DBO na ETE–Anápolis

AMOSTRA	DBO (mg/L)	EFICIÊNCIA PARCIAL (%)
Esgoto bruto	287	-
Efluente da lagoa anaeróbia 1	129	55
Efluente da lagoa anaeróbia 2	120	58
Efluente da lagoa anaeróbia 3	131	54
Efluente da lagoa anaeróbia 4	124	57
Efluente da lagoa fac. aerada 1	19	85
Efluente da lagoa fac. aerada 2	17	87
Efluente da lagoa decantação 1	30 ¹	-
Efluente da lagoa decantação 2	33 ¹	-

¹ Possível efeito das algas

Os resultados de DBO de 19 mg/L e 17 mg/L para o efluente das lagoas aeradas (Tabela 22) são valores bem abaixo dos padrões exigidos pela Portaria n. 006/2001-N (GOIÁS, 2001), que é de 60 mg/L para lançamento em corpo receptor de classe 2. Na remoção de DBO, Sperling (1996a) considera ser da ordem de 70%

a 90% a eficiência típica para lagoas aeradas facultativas – valores que são compatíveis com os 85% e 87% apresentados na Tabela 22. Como a Resolução n. 357 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005) estabelece o valor de 5,0 mg/L para DBO₅ em água doce do tipo classe 2, tem de ser avaliado permanentemente se o efluente da ETE não altera a classe do rio.

O aumento do valor de DBO no efluente final em relação à DBO no efluente das lagoas aeradas, provavelmente aconteceu pela presença de algas no efluente das lagoas de decantação. A constatação do fenômeno pode ser verificada ao analisar a DBO filtrada, o que não foi possível realizar neste trabalho. Porém, a presença de algas (DBO particulada) não representa diretamente poluição do meio ambiente.

5.10.2 Eficiência na redução de coliformes termotolerantes

A concentração de coliformes termotolerantes nos esgotos da ETE–Anápolis, vista na Tabela 23, mostra valores compatíveis com os que são encontrados na literatura. É o caso de NMP equivalente a $1,1 \times 10^8/100$ mL no esgoto bruto: Jordão e Pessoa (2005) consideram valores da ordem de 10^9 a $10^{10} / 100$ mL para o NMP.

Tabela 23 Concentração de coliformes termotolerantes na ETE–Anápolis

TIPO DE ESGOTO	NMP/100 mL
Esgoto bruto	$1,1 \times 10^8$
Esgoto anaeróbio	$2,3 \times 10^6$
Esgoto aerado	$1,1 \times 10^5$
Esgoto do efluente final	$4,0 \times 10^3$

O valor obtido para o efluente final, resultante do índice de coliformes termotolerantes de $4,0 \times 10^3$ (organismos/100 mL), indica eficiência de 99,999%. Contudo, esse valor não satisfaz os padrões da Resolução n. 357 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005), para corpo receptor classe 2. O órgão ambiental poderá até autorizar lançamento com esses valores, desde que estudos ambientais demonstrem que as características do corpo receptor permanecerão conforme os padrões de sua classe.

5.11 Aspectos quantitativos e qualitativos dos materiais retidos nas grades

5.11.1 Resultados obtidos para dias sem chuvas

A média dos resultados obtidos em 30 experimentos para dias sem chuvas, realizados nas grades grosseira e fina a fim de avaliar a composição e a quantidade do material retido, é apresentada na Tabela 24. No Apêndice D, podem ser vistos os resultados de cada dia de experimento. O peso específico de cada material retido foi obtido dividindo o peso total do material retido no dia pelo respectivo volume.

Tabela 24 Composição gravimétrica e média da quantidade de materiais retidos nas grades da ETE–Anápolis em período sem chuva

MATERIAL	GRADE FINA		GRADE GROSSEIRA		SOMATÓRIO	
	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)
Orgânico	13,18	10,50	0,23	0,00	13,41	10,50
Têxtil	46,20	40,60	15,27	9,50	61,47	50,10
Plástico	13,65	5,60	4,18	1,50	17,83	7,10
Areia	8,93	10,30	0,00	0,00	8,93	10,30
Total dia	81,96	67,00	19,68	11,00	101,64	78,00

No período sem chuvas, as variações apresentadas relativas às composições volumétricas e gravimétricas foram devidas, possivelmente, a operações executadas no sistema coletor, tais como: desobstruções de redes, lançamentos de materiais indevidos nas redes por caminhões limpa-fossa e outros.

A vazão média afluyente à ETE–Anápolis no período de estiagem (maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) foi de 269,00 L/s (Tabela 53, Apêndice B). Essa vazão corresponde a um volume de esgoto tratado diariamente de 23.241,60 m³. Feita a correlação do volume de resíduo retido (Tabela 24) com o volume de esgoto tratado diariamente, obteve-se o valor de 0,0043 L/m³. Comparado esse valor com aqueles encontrados em outras ETEs no Brasil (Tabela 7), conclui-se que essa taxa está dentro da faixa de variação encontrada.

Ao analisar o volume retido na ETE–Goiânia de 0,005 L/m³, cujos espaçamentos entre as barras são de 7,5 cm para grade grosseira e 1,3 cm para grades finas – portanto, menores do que os da ETE–Anápolis – constatou-se a proximidade desse valor com o que foi encontrado na ETE–Anápolis.

5.11.2 Resultados obtidos em dias com chuva

A quantidade média dos materiais retidos nas grades e sua composição gravimétrica, após dias chuvosos, encontram-se apresentadas na Tabela 25. No Apêndice E, podem ser vistos os resultados para cada dia de experimento.

A taxa de volume de materiais retidos nas grades por volume de esgoto tratado para uma vazão média de 302 L/s (Tabela 52, Apêndice B) foi de 0,0044 L/m³, e o peso específico médio para esses materiais foi de 740,00 kg/m³. O

acrécimo na taxa de materiais retidos nos dias de chuva, em relação aos dias sem chuva, foi de apenas 2,3%.

Tabela 25 Composição gravimétrica e média da quantidade de materiais retidos nas grades da ETE–Anápolis em período com chuva

MATERIAL	GRADE FINA		GRADE GROSSEIRA		SOMATÓRIO	
	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)
Orgânico	24,33	14,30	0,00	0,00	24,33	14,30
Têxtil	42,83	41,20	13,33	10,8	56,16	52,00
Plástico	22,5	11,00	4,17	2,50	26,67	13,50
Areia	7,83	5,30	0,00	0,00	7,83	5,30
Total dia	97,49	71,8	17,5	13,30	114,99	85,10

5.11.3 Resultados obtidos para dias após intensas precipitações

A média dos resultados relativos aos materiais retidos nas grades grosseira e fina após intensas precipitações encontra-se na Tabela 26. Os valores obtidos no final de cada dia de experimento encontram-se na Tabela 93 (Apêndice F).

Após intensas precipitações, a taxa de volume total de materiais retidos nas grades por volume de esgoto tratado para uma vazão média de 326 L/s (Tabela 54, Apêndice B) foi de 0,008 L/m³; valor 86% superior à taxa obtida para dias sem chuvas. O peso específico médio de todos os materiais retidos aumentou para 850,00 kg/m³.

Utilizando o teste de Tukey para avaliar a diferença entre tratamentos e o intervalo de confiança para as diferenças, percebe-se que o experimento em dias de intensa precipitação difere dos demais. Essa evidência é verificada pelo *p-value*, que, nesse caso, apresenta diferença significativa ao nível de 0,001. Dessa forma,

verifica-se que as médias diferem, isto é, que o tipo de tratamento utilizado afeta o volume produzido.

Tabela 26 Composição gravimétrica e média da quantidade de materiais retidos nas grades da ETE–Anápolis após intensas precipitações

MATERIAL	GRADE FINA		GRADE GROSSEIRA		SOMATÓRIO	
	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)	Volume (L/dia)	Peso (kg/dia)
Orgânico	59,67	51,40	0,00	0,00	59,67	51,40
Têxtil	61,33	62,30	28,83	25,60	90,16	87,90
Plástico	35,67	15,40	12,17	6,00	47,84	21,40
Areia	29,33	31,20	0,00	0,00	29,33	31,20
Total dia	186,00	160,30	41,00	31,60	227,00	191,90

5.11.4 Resultados obtidos para amostragem de resíduos a cada hora

A média do volume de materiais retidos nas grades finas durante o experimento com retiradas a intervalos de 1 h foi de 35,4 L/dia (Quadro 14). O volume médio de materiais retidos nas grades finas foi de 38 L/dia, valor que pode ser verificado no Apêndice D para material retido no período sem chuvas, com leitura feita à tarde. Aplicado o teste t para verificar a ocorrência de diferença entre os tratamentos, obteve-se *p-value* de 0,2189, o que permite concluir que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

5.11.5 Análise do material retido nas grades

A Tabela 27 apresenta uma síntese das três situações estudadas, com dados dos volumes totais de materiais retidos nas estações de chuva e de seca. Houve variação de 133% de materiais retidos nas grades em dias com intensas

precipitações em relação aos dias sem chuvas; a variação de volume de materiais retidos em dias com chuvas em comparação aos dias sem chuvas foi de 13%.

Quadro 14 Volume de material retido nas grades com retirada de material a intervalos de 1 h

EXPERIMENTO/2006	VOLUME RETIDO (L/dia)
6 de abril	34
18 de abril	39
26 de abril	35
10 de maio	34
19 de maio	35

Tabela 27 Volume médio diário de material retido nas grades (síntese das Tabelas 24, 25 e 26)

MATERIAL	VOLUME RETIDO (L)		
	Período sem chuva	Período com chuva	Após intensas precipitações
Orgânico	13,41	24,33	59,67
Têxtil	61,47	56,16	90,16
Plástico	17,83	26,67	47,84
Areia	8,93	7,83	29,33
Total dia	101,64	114,99	227,00

Os materiais retidos na grade grosseira, em todos os experimentos, constituíram-se preponderantemente de plásticos e material têxtil. Após intensas precipitações, havia proporção maior de material orgânico em relação a outras épocas, devido ao acúmulo de galhos de árvores. O plástico foi basicamente representado por “sacos de embalagem”. O material definido como “têxtil” constituiu-se de uma mistura de pano, estopa e cabelo, muito difícil de ser desembaraçada. Tal

substrato é chamado de “bucha” pelos trabalhadores que operam o sistema de redes de esgoto. Essa “bucha” é a causa maior de obstrução nas tubulações e serve como aglutinador de impurezas, as quais podem fechar totalmente as seções das redes coletoras de esgoto.

Nas grades finas, os materiais retidos foram constituídos de uma variedade maior de artigos, como material orgânico, plástico, têxtil e areia:

- material orgânico: restos de frutas e verduras; animais mortos (ratos, lagartos e baratas); pedaços de gordura “empedrados”; folhas e galhos de árvores;
- plástico: embalagens de plástico, invólucros de picolé, chocolate e caramelos, frascos de comprimidos, escovas de dentes, preservativos e garrafas PET;
- têxtil: o material têxtil retido nas grades finas foi idêntico ao encontrado na grade grosseira;
- areia: o material retido nas grades finas definido como areia consistiu de resíduos presos entre o plástico e o material têxtil.

A quantidade e a qualidade do material retido nas estações chuvosas e secas apresentaram variações; porém, guardaram proporção similar, sempre com maior quantidade de material “têxtil”, seguido por plástico e, na seqüência, matéria orgânica e areia, como pode ser visto na Tabela 28.

Nos Gráficos 6, 7 e 8 são apresentadas as composições gravimétricas obtidas para os períodos estudados. No Gráfico 9, é apresentada a média geral (em porcentagem) do volume nas três situações analisadas.

Todos os materiais retidos nas grades eram coletados no início da manhã e no final da tarde, sendo encaminhado para local próximo ao tratamento preliminar e

lançado em valas, logo depois da coleta (Fotografia 15). Essas valas, com profundidade de 1,0 m e 40 cm de largura, eram cavadas manualmente pelos operadores da ETE.

Tabela 28 Variação da proporção de materiais retidos nas grades em função da pluviosidade

MATERIAL	PROPORÇÃO (MÉDIA DOS EXPERIMENTOS %)			
	Dias sem chuva	Dias com chuva	Após intensas precipitações	Média geral
Orgânico	13,19	16,05	26,29	13,96
Têxtil	60,48	50,53	39,72	58,33
Plástico	17,54	29,21	21,07	19,60
Areia	8,79	4,21	12,92	8,11

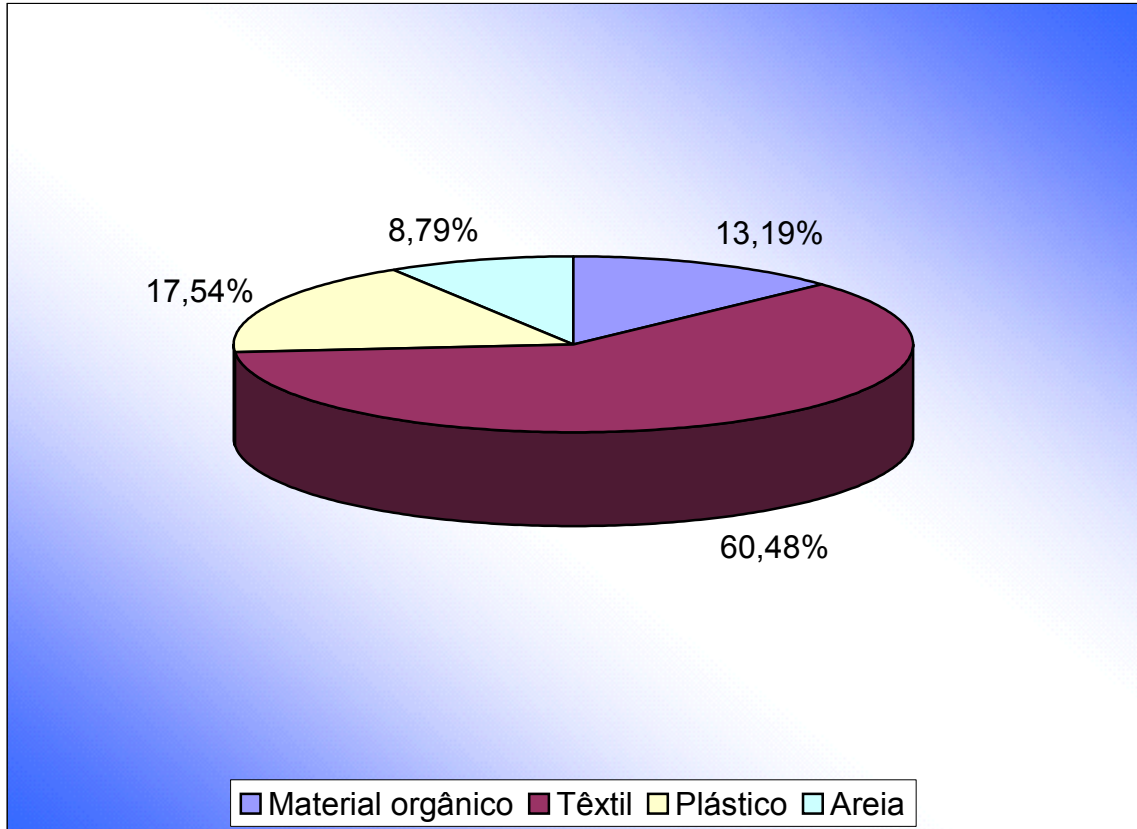


Gráfico 6 Proporção volumétrica de materiais retidos nas grades em período sem chuvas

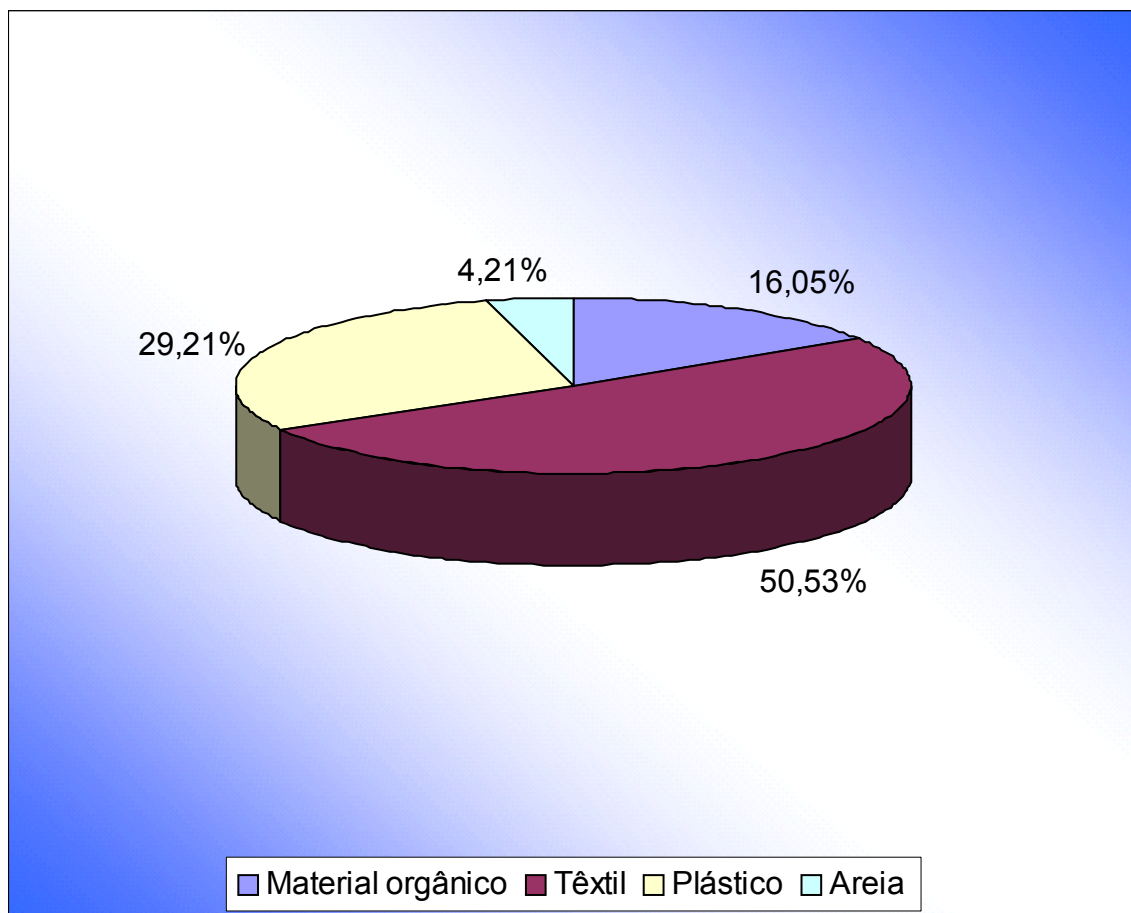


Gráfico 7 Proporção volumétrica de materiais retidos nas grades após chuvas

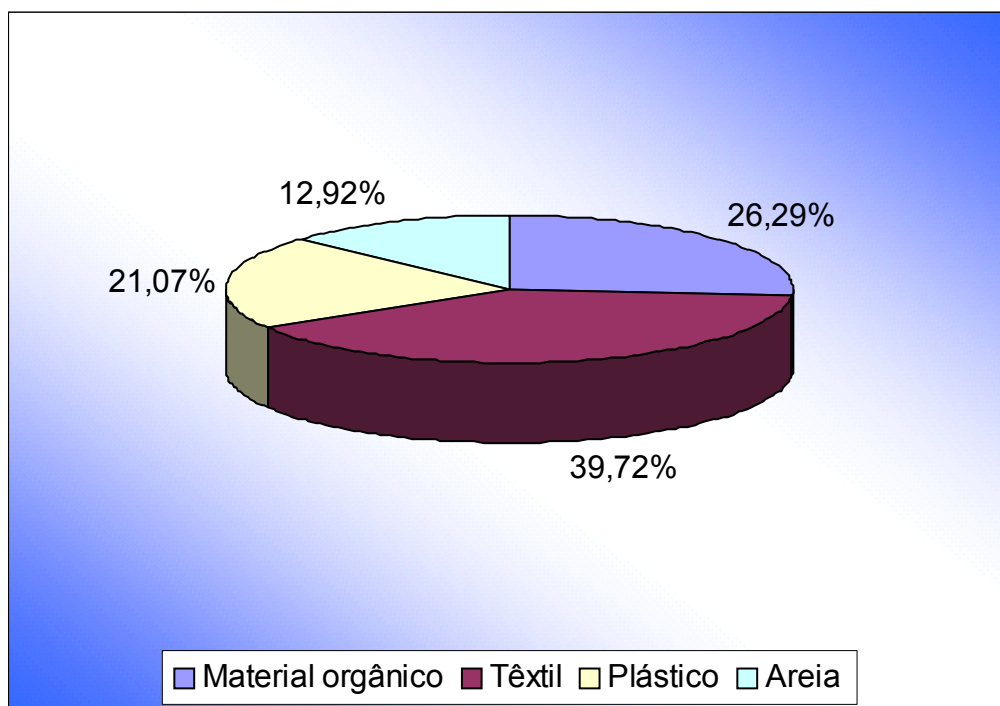


Gráfico 8 Proporção volumétrica de materiais retidos nas grades após intensas precipitações

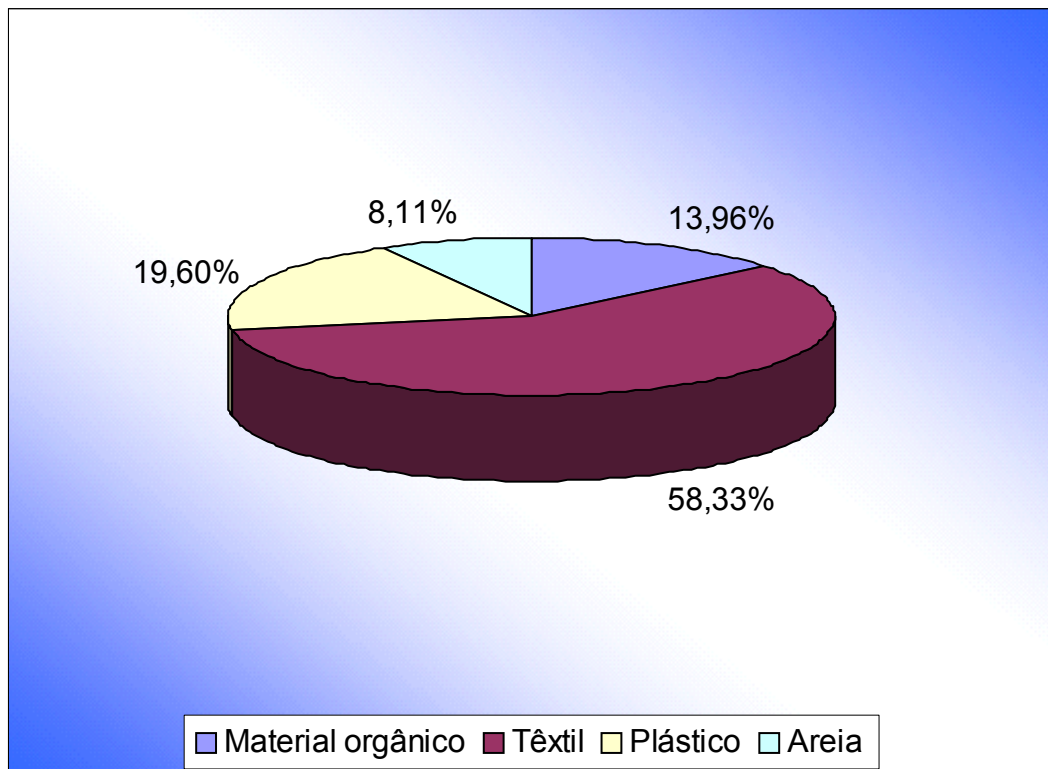


Gráfico 9 Média geral da proporção volumétrica de materiais retidos nas grades



Fotografia 15 Vista das valas próximas ao gradeamento onde é depositado o material gradeado

5.12 Aspectos quantitativos e qualitativos do material retido no desarenador

A limpeza do desarenador é realizada uma vez ao dia, às 8 h. Nos dias em que ocorrem intensas precipitações, as limpezas podem ser mais freqüentes. A areia recolhida no desarenador pela bomba do tipo “parafuso” é depositada no piso de concreto ao lado do desarenador. O motor de limpeza do desarenador é acionado no início da noite e permanece em funcionamento até a manhã do dia seguinte. Diariamente, no início da manhã, essa areia é retirada do piso de concreto com a utilização de carrinho de pedreiro (Fotografia 16), e levada para a área próxima ao desarenador, como pode ser visto na Fotografia 17. Após alguns meses, essa areia é transportada e enterrada na área da ETE.



Fotografia 16 Vista da operação de transporte da areia retirada na limpeza do desarenador

Os volumes e pesos de material retido nos desarenadores em períodos sem chuva, com chuva e após intensas precipitações são apresentados na Tabela 29. Na mesma tabela, são apresentadas as taxas de volume de areia retido sobre volume

de esgoto afluyente em cada período correspondente às vazões de 269,00 L/s, 302,00 L/s e 326,00 L/s, respectivamente. Nos Apêndices D, E e F, são apresentados todos os volumes de material retido nos desarenadores nos 42 experimentos.



Fotografia 17 Vista do local de deposição da areia removida dos desarenadores

Tabela 29 Quantidade diária de materiais retidos nos desarenadores

PARÂMETRO	DIAS SEM CHUVA	DIAS COM CHUVA	DIAS APÓS INTENSAS PRECIPITAÇÕES
Volume (L)	760,00	965,00	1.193,00
Peso (kg)	1.027,00	1.282,00	1.490,00
Taxa (L/ 1.000m ³) ¹	32,6	37,0	42,3

¹Taxa = volume de areia retida por volume de esgoto tratado.

Em dias chuvosos, a quantidade de areia retida aumentou, em média, 27% em relação aos dias sem chuva. Após intensas precipitações, a quantidade média de areia retida chegou a aumentar 57% em relação aos dias sem chuva. Essas variações possivelmente comprovam o lançamento indevido de águas pluviais nas redes coletoras de esgoto.

Considerando-se os volumes de esgoto tratado diariamente para os três períodos de realização dos experimentos, observou-se que o volume de areia retida por esgoto tratado está dentro do intervalo citado na literatura, conforme dados apresentados para diversas cidades do Brasil (Tabela 10), cujos valores encontrados estão próximos a 20 L/1.000 m³.

No desarenador estudado, percebeu-se variação no tipo de material sedimentado. Em alguns dias, era comum observar a presença de sementes de milho, soja, feijão, produtos típicos da produção agrícola de Goiás.

A Tabela 30 apresenta valores relativos a umidade, STF e STV da areia retida na ETE–Anápolis. O valor médio para umidade, de 67,28%, excede o valor mais elevado do intervalo citado por Clark e Morriss (1991), que está entre 13% e 65%. O teor de matéria orgânica médio, de 61,7%, mostra valor bem acima dos recomendados na literatura técnica, que é de 30%, o que aponta a possibilidade de falha na operação do sistema, propiciando a sedimentação de muito material orgânico. Esse problema deve-se, possivelmente, ao tempo de detenção atual nos desarenadores, que chega a ser quase 100% maior do que o valor calculado na época do projeto, quando foi utilizada vazão de 553,5 L/s.

Tabela 30 Proporção de material orgânico e material inerte presentes na areia

Amostra	ST (%)	STF (%)	STV (%)
1	35,6	46,7	53,3
2	27,8	22,7	77,3
3	33,3	40,1	59,9
4	35,8	41,9	58,1
5	31,1	39,1	60,1
Média	32,72	38,3	61,7

5.13 Total de material retido no tratamento preliminar

A Tabela 31 apresenta uma síntese do volume médio diário dos materiais retidos nas grades e no desarenador nos períodos de chuvas e de estiagem.

Tabela 31 Síntese dos volumes médios diários de material retido no tratamento preliminar

PERÍODO (DIAS)	ESTAÇÃO	DESARENADOR (L)	GRADES (L)	TOTAL (L)
295	Estiagem	760,00	101,64	861,64
61	Chuvosa	965,00	114,99	1.079,99
9 ¹	Intensa precipitação	1.193,00	227,00	1.420,00

¹ Os nove dias com intensas precipitações estão incluídos nos 70 dias de chuvas.

Os volumes médios diários de material retido no gradeamento e no desarenador, considerando os dados apresentados na Tabela 31, são respectivamente 107 L/d e 805 L/d. Totalizando 912 L/d o volume médio de material retido no tratamento preliminar.

5.14 Caracterização do lodo depositado nas lagoas anaeróbias

5.14.1 Caracterização quantitativa

Os resultados relativos à altura das camadas de lodo nas lagoas da ETE–Anápolis, utilizando o aparelho *sludge judge*, apresentaram valores próximos para todas as lagoas anaeróbias. Nas demais lagoas, praticamente não se registrou lodo acumulado, com média de taxa volumétrica *per capita* de 0,02 L/hab.dia para as anaeróbias, o que corresponde a valor abaixo do que é citado na literatura sobre esse tipo de lagoa. Como população atendida, foi considerado o total de 139.509 habitantes, número que corresponde à média da população servida nos anos de operação da ETE. Na Tabela 32, encontram-se os valores das alturas médias do lodo em cada lagoa e os volumes de lodo, obtidos com a utilização do aparelho *sludge judge*, calculados pela fórmula do volume do prisma e pelo programa SUFER 8.0.

Tabela 32 Resultados da medição do lodo com o aparelho *sludge judge*

LAGOA	ALTURA MÉDIA DE LODO (cm)	VOLUME (m ³)	VOLUME (m ³)
		CÁLCULO SUFER 8.0	CÁLCULO (h médio x área da base)
Anaeróbia 1	49,71	4.566,00	4.523,61
Anaeróbia 2	49,75	4.555,18	4.527,25
Anaeróbia 3	48,36	4.432,04	4.400,76
Anaeróbia 4	48,94	4.533,98	4.453,54
Aerada 1	21,45	5.932,17	5.808,50
Aerada 2	21,61	5.941,72	5.743,19
Decantação 1	6,30	1.702,75	1.674,32
Decantação 2	6,87	1.810,36	1.825,80

Nos experimentos realizados com o aparelho *sludge judge*, houve as seguintes dificuldades:

- a linha divisória entre o líquido e o lodo era de difícil percepção;
- algumas vezes foi necessário repetir a leitura, pois a válvula não permitia a entrada de lodo no aparelho.

Diante dos valores que estão apresentados na Tabela 32, foi utilizado outro aparelho do tipo *sludge judge* recém-adquirido. Porém, os resultados foram muito semelhantes aos anteriores, assim como as dificuldades encontradas no uso do aparelho.

Fez-se necessário, então, o uso de um dispositivo diferente para quantificação do lodo depositado, a fim de se fazer a comparação dos resultados. Os novos valores, obtidos com a utilização do dispositivo com haste de PVC presa a um disco de fibra de vidro, encontram-se na Tabela 33. Todos os valores resultantes nas seções batimétricas podem ser vistos no Apêndice G.

Tabela 33 Resultados da medição do lodo com o dispositivo do tipo haste de PVC

LAGOA	ALTURA MÉDIA DE LODO (cm)	VOLUME (m ³)	VOLUME (m ³)
		CÁLCULO SUFER 8.0	CÁLCULO (h médio x área da base)
Anaeróbia 1	1,50	13.209,7	13.650
Anaeróbia 2	1,10	10.224,6	10.010
Anaeróbia 3	1,61	14.974,5	14.651
Anaeróbia 4	1,23	11.677,9	11.193

As alturas encontradas no segundo experimento foram superiores às obtidas com o aparelho *sludge judge*. O experimento feito com a haste de PVC também constatou que as demais lagoas não tinham lodo depositado. Os Gráficos 10, 11, 12 e 13, elaborados através do programa SUFER 8.0, mostram a distribuição do lodo nas lagoas anaeróbias, utilizando o dispositivo haste de PVC.

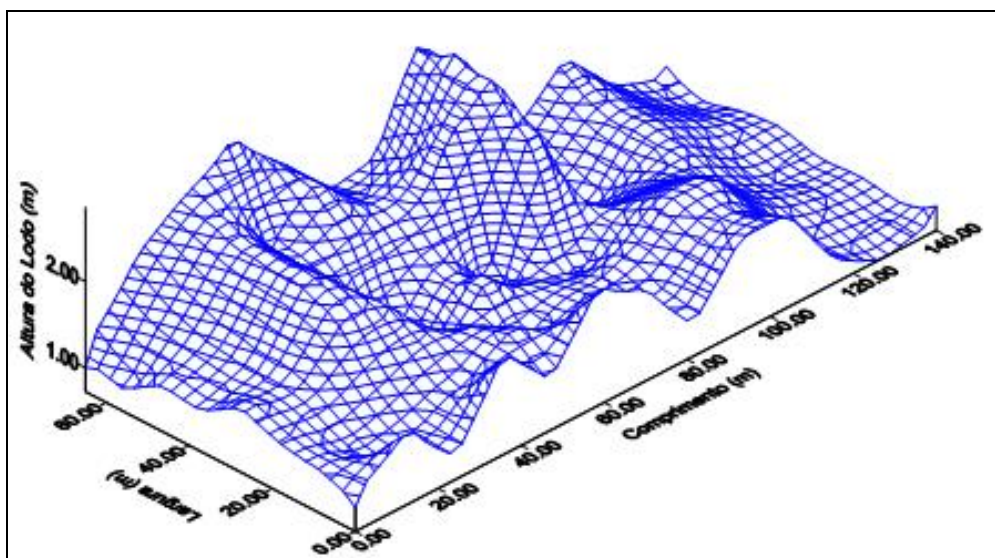


Gráfico 10 Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 1

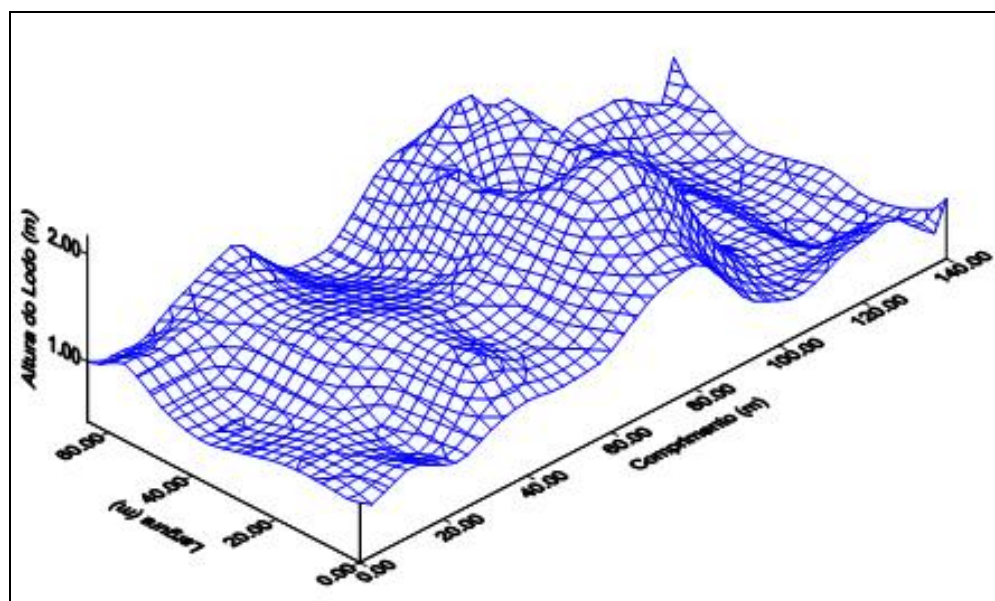


Gráfico 11 Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 2

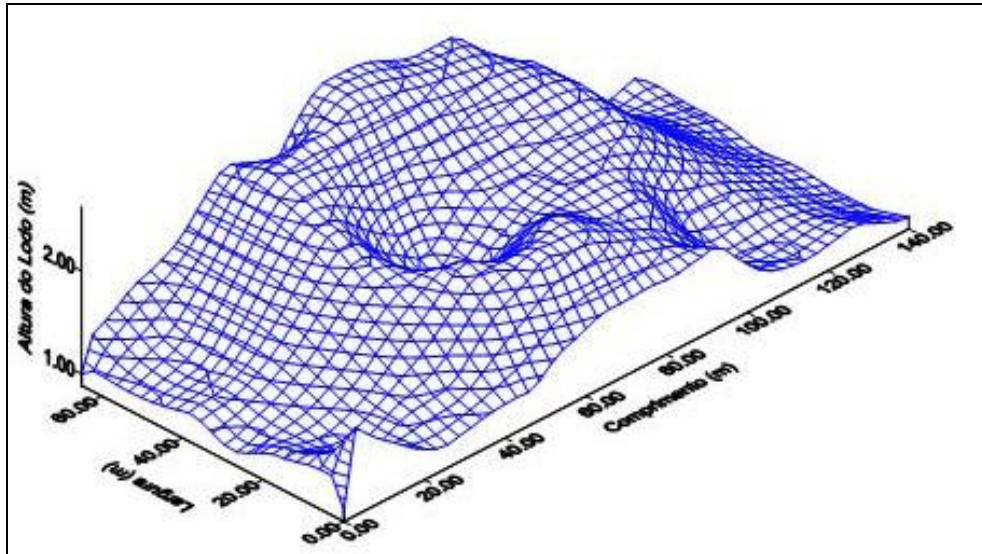


Gráfico 12 Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 3

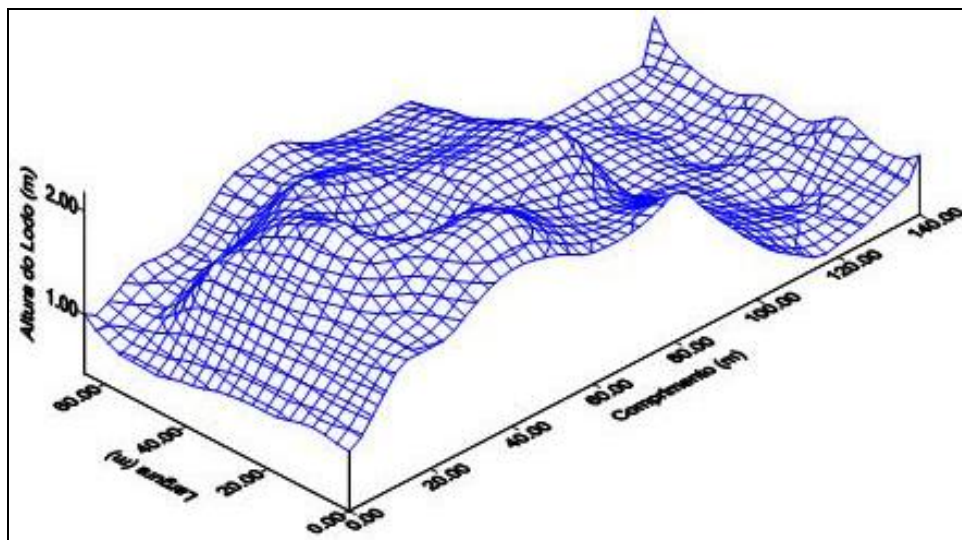


Gráfico 13 Distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia 4

De acordo com Sperling (1996b), as lagoas devem passar por processo de retirada de lodo assim que este ocupar 50% de seu volume útil. Considerando a lagoa anaeróbia 3, com uma taxa linear de acumulação de lodo de 10,33 cm ao ano (Tabela 34), a camada de lodo levaria aproximadamente 20 anos para atingir a metade da altura útil. Assim, pode-se planejar o processo de retirada de lodo da primeira lagoa anaeróbia da ETE–Anápolis em até quatro anos. A Tabela 34 mostra

as previsões de tempo para a retirada de lodo de todas as lagoas anaeróbias da ETE– Anápolis.

Tabela 34 Taxa de acumulação de lodo e previsão de limpeza das lagoas anaeróbias (1990-2005) da ETE–Anápolis

LAGOA	TAXA DE ACUMULAÇÃO		PREVISÃO DO TEMPO PARA RETIRADA DO LODO (anos)
	L/hab.dia	cm/ano	
Anaeróbia 1	0,065	10,00	5
Anaeróbia 2	0,050	7,33	12
Anaeróbia 3	0,070	10,33	4
Anaeróbia 4	0,057	8,20	9

Os dados referentes ao volume de lodo acumulado nas outras lagoas não constam deste trabalho porque mostraram produção de lodo volumetricamente desprezível. Os resultados das lagoas aeradas, como o das lagoas de decantação, mostraram altura média da camada de lodo inferior a 10 cm. Provavelmente, esse resultado tão diminuto deve-se ao grande TDH das lagoas anaeróbias e à baixa carga orgânica afluyente a elas em 16 anos de funcionamento. O processo de acumulação de lodo nas lagoas primárias pode ser mais bem compreendido nas considerações de Gonçalves (2000, p. 8):

Nas lagoas primárias são retidos quase 100% dos sólidos sedimentáveis, enquanto nas secundárias não ocorre uma sedimentação significativa. Isto faz com que a acumulação de lodos nas lagoas secundárias seja desprezível para fins práticos. Conseqüentemente, maior atenção será dada à formação de lodo nas lagoas primárias, especialmente as do tipo anaeróbias.

Os gráficos de distribuição espacial de lodo no fundo das quatro lagoas anaeróbias permitem observar que, em todas elas, o lodo depositou-se mais na

região central. A variação da taxa volumétrica *per capita* de acumulação de lodo nas quatro lagoas oscilou de 0,050 L/hab.dia a 0,074 L/hab.dia e a taxa linear de acumulação do lodo oscilou de 7,33 cm/ano a 10,33 cm/ano.

As medições da altura do lodo nas lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis demonstraram que a taxa volumétrica *per capita* apresentou valor médio de 0,062 L/hab.dia, que é compatível com valores da literatura: 0,026 L/hab.dia a 0,4 L/hab.dia. A taxa linear de acumulação de lodo encontrada na ETE–Anápolis foi de 8,97 cm/ano; na literatura, são apresentados valores entre 2,2 cm/ano e 60 cm/ano. É interessante observar que a taxa linear de acumulação é superior nos primeiros anos pela própria configuração das lagoas (tronco piramidal), em que as seções mais profundas são menores que as mais superficiais.

A estimativa do volume acumulado de lodo– V_{as} nas lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis foi de 2,90 m³/dia, conforme o modelo de Saqqar e Pescod (apud GONÇALVES, 2000) apresentado nas equações 3.13 e 3.14, sendo $KAS = 0,6$, $SSV = 191$ mg/L, $SSF = 39$ mg/L, $S_0 = 286,6$ mg/L e Q (média) por lagoa = 6.145 m³/dia. Assim, considerando-se que esta vem operando há 16 anos, 365 dias/ano, a estimativa de volume total acumulado nesse período é de 16.936,00 m³. Esse valor é cerca de 13% superior ao verificado na medição com o aparelho do tipo haste de PVC, na lagoa anaeróbia 3 (lagoa com maior volume de lodo acumulado). Esse valor indica a acumulação de lodos relativamente bem digeridos nas lagoas, compatível com as características do esgoto bruto, com baixa carga orgânica aplicada e grande tempo de detenção das lagoas.

Os valores encontrados em diversas localidades refletem diferenças, como pode ser observado na Tabela 19, nos dados da Tabela 35, que mostra resultados da experiência recente de Gonçalves (2000) em lagoas do estado do Espírito Santo

e nos dados da Tabela 36, apresentando experiência conduzida por Felizatto et al. (2005) em lagoas anaeróbias de Brasília. Esses últimos resultados apresentam alto valor em termos relativos para a taxa linear de acumulação de lodo em contrapartida ao valor para a taxa volumétrica *per capita* de acumulação de lodo. A taxa linear apresentada em Brasília, de 0,18 cm/dia, implica a necessidade de limpeza das lagoas anaeróbias a cada quatro anos. Alves et al. (2005), ao estudar as condições operacionais de lagoas anaeróbias na Paraíba, após cinco anos de operação, levantaram a taxa volumétrica *per capita* de 0,096 L/hab.dia e 42,18 cm/ano.

Tabela 35 Taxas de acumulação de lodo em lagoas do Espírito Santo

LOCAL	TAXA DE ACUMULAÇÃO DE LODO ENCONTRADO EM LAGOAS DO ESPÍRITO SANTO	
ETE Eldorado (lagoa anaeróbia)	0,023 L/hab.dia	7,66 cm/ano
ETE Porto Canoa (lagoa anaeróbia)	0,026 L/hab.dia	2,86 cm/ano

Fonte: Adaptada de Gonçalves (1999, apud FELIZATTO et al., 2005)

Tabela 36 Taxas de acumulação de lodo em lagoas de Brasília

LAGOA	TAXA DE ACUMULAÇÃO DE LODO ENCONTRADO EM LAGOAS DE BRASÍLIA	
Anaeróbia 1	0,045 L/hab.dia	0,18 cm/dia
Anaeróbia 2	0,043 L/hab.dia	0,18 cm/dia

Fonte: Felizatto et al. (2005)

As diferenças nos resultados, apesar de haver ainda poucas experiências com medição de lodo em lagoas, podem ser conseqüência de diversos fatores, como, por exemplo, carga orgânica afluente à ETE, tipo de tratamento preliminar. O método utilizado em experiências recentes pode influenciar nos resultados. Três

autores estudados utilizaram aparelhos diferentes em seus experimentos: Gonçalves (2000) utilizou a haste de PVC que também foi utilizada na experiência de Anápolis, Felizatto et al. (2005) utilizaram uma pistola de lodo e Alves et al. (2005) utilizaram um disco de ferro de 5 kg.

Caso fosse utilizado o valor médio para a taxa linear de acumulação de lodo de 8,97 cm/ano para lagoas anaeróbias observado na Tabela 19, e se considera que as alturas das lagoas anaeróbias estão próximas a 4,0 m, teoricamente, é de se esperar que o volume de lodo ocupe a altura média das lagoas após 22 anos de operação.

5.14.2 Composição qualitativa do lodo das lagoas

5.14.2.1 Teores de sólidos totais e sólidos voláteis no lodo

O valor médio para ST, apresentado na Tabela 37, foi de 8,69% nas lagoas anaeróbias de Anápolis. Esse valor é relativamente baixo para lagoas primárias em funcionamento há 16 anos, se comparado aos valores sugeridos por Gonçalves (2000), ao afirmar que o lodo retirado de lagoas primárias em geral apresenta elevados teores de sólidos totais ($ST > 15\%$). O mesmo autor, realizando pesquisa na lagoa de Eldorado (ES) (sistema australiano), encontrou altas concentrações de sólidos totais no fundo da lagoa, superiores a 22%. O valor médio para teor de sólidos voláteis no lodo de 47,02% obtido nas lagoas anaeróbias permite caracterizar esse lodo como estabilizado, o que facilita na operação de destinação do lodo.

Tabela 37 Teor de sólidos totais, fixos e voláteis nas lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis em junho de 2006

LAGOA	SÓLIDOS TOTAIS (%)	SÓLIDOS FIXOS (% ST)	SÓLIDOS VOLÁTEIS (% ST)
Anaeróbia 1	9,35	51,25	48,75
Anaeróbia 2	6,36	49,15	50,85
Anaeróbia 3	10,56	59,22	40,78
Anaeróbia 4	8,50	52,30	47,70

5.14.2.2 Metais pesados e nutrientes presentes no lodo das lagoas

As concentrações de metais pesados no lodo das lagoas anaeróbias de Anápolis são relativamente baixas, como mostram os dados apresentados na Tabela 38. Quando confrontados com os valores estabelecidos pela Resolução n. 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006), as normas americanas (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992) e, ainda, a norma Para o estado de São Paulo (Quadro 8) (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999), esses resultados mostram a possibilidade de aplicação do lodo das lagoas em áreas degradadas e de sua utilização na agricultura.

5.14.2.3 Microrganismos presentes no lodo das lagoas

As análises do lodo das lagoas anaeróbias apresentaram concentração média de coliformes termotolerantes com média de $8,1 \times 10^3$ NMP/g (MS). Os valores obtidos encontram-se na Tabela 39 e estão próximos aos valores encontrados por Gonçalves et al. (2000), ao estudar lagoas anaeróbias no Espírito Santo ($1,9 \times 10^3$

NMP/g MS). A concentração encontrada está pouco acima do que é estabelecido na Resolução n. 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006), que é de 10^3 NMP/g de ST, considerada para lodo classe A. Os valores apontados para concentrações de coliformes termotolerantes confirmam as características apropriadas do lodo de lagoas para uso na agricultura.

Tabela 38 Parâmetros químicos do lodo das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO MÉDIA (mg/kg)	PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO MÉDIA (mg/kg)
Prata	12,05	Magnésio	134,00
Bário	1,53	Ferro	2.650,00
Cádmio	0,11	Alumínio	1.890,00
Cobre	8,97	Níquel	1,17
Chumbo	6,44	Manganês	9,85
Zinco	45,65	Cromo	3,82
Arsênio	< 0,01	Molibdênio	< 1,00
Potássio	1.787,50	Cálcio	560,00
Fósforo	35,35	Cobalto	0,87
Nitrogênio	1,20	Sódio	70,10

Os resultados relativos à remoção de ovos de helmintos, apresentados na Tabela 40, mostram que os valores encontrados no lodo das lagoas de Anápolis permitem denominar o material como de classe A. Apenas o lodo da lagoa anaeróbia 3 teve valor pouco majorado em relação à classificação estipulada pela Resolução n. 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006), cuja concentração de ovos de helmintos tem de ser menor que 0,25 ovos/g de MS.

Tabela 39 Concentração de coliformes termotolerantes no lodo das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis em maio de 2006

LAGOA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/g MS)
Anaeróbia 1	3,1 x 10 ³
Anaeróbia 2	3,5 x 10 ³
Anaeróbia 3	2,3 x 10 ⁴
Anaeróbia 4	2,9 x 10 ³

Tabela 40 Parâmetros microbiológicos do lodo das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis

ORGANISMO	OVOS (n./g MS)							
	LAGOA							
	Anaeróbia 1	Anaeróbia 2	Anaeróbia 3	Anaeróbia 4	Anaeróbia 1	Anaeróbia 2	Anaeróbia 3	Anaeróbia 4
<i>Ascaris sp</i>	0	0,61	0	5,88	0,42	2,10	0	4,44
<i>Ancilostoma sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hymenolepis nana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Toxocara sp</i>	0	0,61	0	0,58	0	0	0	0,74
<i>Trichuris sp</i>	0	1,23	0	3,52	0	0	0	2,96
Total	0	2,45	0	9,98	0,42	2,10	0	8,14

5.15 Plano de gestão para os resíduos sólidos produzidos na ETE–Anápolis

5.15.1 Resíduos coletados no tratamento preliminar

Os resíduos retidos no tratamento preliminar das ETEs têm merecido pouca atenção por parte dos projetistas e dos gestores dos sistemas, quanto à coleta, ao manejo e à disposição final desses resíduos. A situação encontrada em Anápolis não é diferente da grande maioria das ETEs do país. Com os valores obtidos nos experimentos relatados na Tabela 31, foi possível calcular o volume médio de material retido diariamente no tratamento preliminar, e propor um plano de gerenciamento para esses resíduos.

O aterro sanitário da cidade de Anápolis dista 2 km da ETE–Anápolis. As áreas da ETE e do aterro sanitário são confrontantes. A Portaria n. 006/2001-N (GOIÁS, 2001) proíbe que se façam obras como valas para lançamento de material classe 2 a menos de 200 m de corpos receptores. Isso exige que se transporte todo o material, tanto aquele já depositado como o que vem sendo coletado no presente, para lugares mais distantes do Córrego das Antas.

As propostas econômica e ambientalmente mais adequadas para a gestão dos resíduos coletados no tratamento preliminar consistem em:

- colocar contêineres de caminhão basculante ao lado do desarenador, para que toda a areia coletada diariamente possa ser lançada diretamente neles, assim como o material retido nas grades;
- manter o contêiner sempre coberto com capa plástica para evitar maus odores e a aproximação de vetores;
- adicionar cal hidratada todos os dias sobre o material retido, para elevar o pH do material coletado, a fim de evitar o mau-cheiro e a aproximação de moscas;
- estabelecer uma rotina para a retirada do contêiner pelo caminhão, que deverá levar todo o material retido para o aterro sanitário municipal; sendo o volume médio diário de material retido no tratamento primário da ETE–Anápolis de 912 L e a capacidade do contêiner de 5.500 L, a retirada poderá ser semanal ou a critério do gestor;
- melhorar as condições do poço de coleta de água do lençol freático na região da ETE, e instalar torneira entre as grades e o desarenador, a fim de obter melhor padrão de limpeza do local;

- perfurar a laje que recebe o material da grade, produzindo orifícios que propiciem a drenagem dos resíduos;
- providenciar um convênio entre a SANEAGO e a Prefeitura de Anápolis, a fim de legalizar formas de pagamento pelo uso do aterro municipal;
- efetuar licitação a fim de possibilitar a contratação pela SANEAGO do veículo para transporte do contêiner;
- promover cursos de capacitação para os funcionários que trabalham com resíduos, a fim de orientá-los sobre a importância das mudanças na qualidade de vida dos operários e a melhoria do meio ambiente.

A estimativa de custo para a implantação do sistema de armazenamento e a coleta do material gradeado e da areia retida no desarenador está apresentada no Quadro 15.

Quadro 15 Demonstrativo de serviços e custos mensais para implantação de contêineres

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
Aplicação de cal hidratada	kg	600,00	0,34	204,00
Aluguel e transporte de contêiner	viagem	5,0	70,00	350,00
Taxa para prefeitura (aterro sanitário)	mês	1,0	750,00	750,00
Preço do serviço (mensal)				1.304,00

5.15.2 Lodo das lagoas de estabilização

A Resolução n. 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006) define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em ETE e seus produtos derivados. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, esse uso do lodo é possível, desde que seja precedido de um planejamento prévio e respeitados os parâmetros ambientais (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992). No planejamento de um programa de utilização do lodo de esgoto doméstico, várias etapas devem ser consideradas. Antes da implantação definitiva de tal programa, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos sugere uma avaliação detalhada das condições legais, sociais, técnicas e econômicas (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992).

Em vista da relevância dos dados levantados sobre o volume e a composição do lodo das lagoas de estabilização da ETE–Anápolis, considera-se pertinente e oportuna a elaboração de um plano de gestão para a retirada e a destinação do lodo acumulado nas lagoas durante os 16 anos de operação da ETE.

Com base na taxa linear de acumulação do lodo obtida na lagoa anaeróbia 3 da ETE–Anápolis de 10,33 cm/ano (Tabela 34), pode-se planejar a operação de limpeza do lodo nessa primeira lagoa em quatro anos, quando a metade do volume útil da lagoa, provavelmente, estará ocupada por lodo. O plano proposto para o gerenciamento do lodo produzido na lagoa anaeróbia 3 servirá de guia para as demais, cujas limpezas ocorrerão sucessivamente. Recomenda-se, no entanto, que, em 2010, seja realizada nova batimetria nas lagoas, para se confirmar a altura média de lodo depositada em cada unidade de tratamento.

Considerando-se que as lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis operam com ociosidade e que são quatro unidades em paralelo, é possível interromper o funcionamento de uma delas e trabalhar com as outras três, como fica demonstrado pelos dados apresentados no Quadro 16.

Quadro 16 Condição de funcionamento de três lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis para o ano de 2010

PARÂMETRO	UNIDADE
População servida (2010)	197.120 hab.
Vazão média	320,00 L/s
Tempo de detenção hidráulica	4,88 dias
Taxa de aplicação volumétrica	0,06 kg DBO ₅ /m ³ .d

O TDH de 4,88 dias e a taxa de aplicação volumétrica de 0,06 kg DBO₅/m³.d para cada lagoa anaeróbia, são valores que permitem ao sistema operar dentro de limites compatíveis com a literatura técnica, quando somente três lagoas anaeróbias de Anápolis estiverem operando em paralelo.

Confirmada a necessidade de limpeza do lodo, algumas ações deverão ser implementadas:

- a) caracterização físico-química e microbiológica do lodo;
- b) elaboração de projeto, especificando metodologia, cronograma, orçamentos e demais detalhes para execução do desaguamento da lagoa, a higienização e o transporte do lodo;

c) definição do destino final do lodo, considerando o menor impacto ambiental possível, e com efetivação permitida somente depois de avaliadas as análises econômicas das soluções escolhidas;

d) obtenção de licença junto ao órgão ambiental competente para operação de desaguamento da lagoa, remoção e destinação do lodo;

e) realização de licitações e elaboração de contratos, quando se fizerem necessários.

5.15.2.1 Etapa de secagem do lodo

O calendário proposto de atividades para operação de retirada do lodo das lagoas tem por base os índices de precipitações pluviométricas e de evaporação no período de 1983–2003 para a região a 40 km de Anápolis, dados que se encontram no Quadro 17.

Quadro 17 Média de precipitação e evaporação nos meses de estiagem para região de Anápolis no período 1983–2003

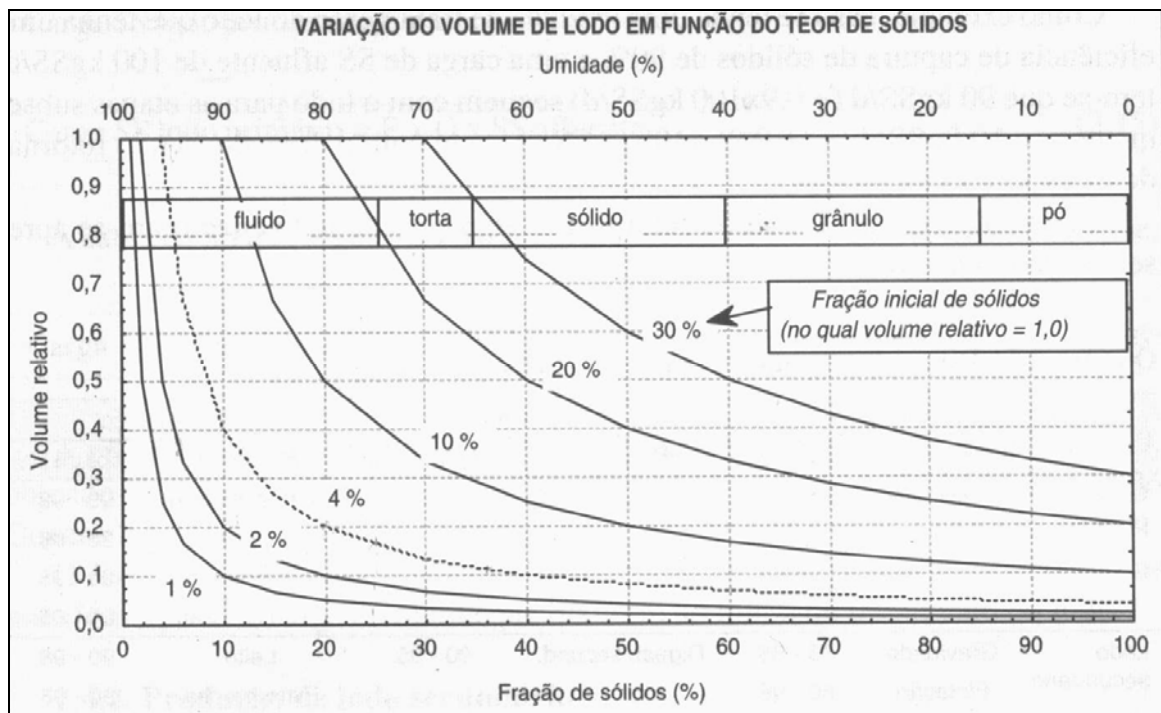
MÊS	PRECIPITAÇÃO (mm)	EVAPORAÇÃO (mm)	MÊS	PRECIPITAÇÃO (mm)	EVAPORAÇÃO (mm)
Abril	83	93	Julho	5	191
Maio	28	123	Agosto	15	233
Junho	9	151	Setembro	50	203

Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006)

O período mais indicado para a desativação da lagoa a ser limpa será a segunda quinzena de abril. Os valores apresentados no Quadro 17 e no Apêndice C

indicam que as precipitações na região de Anápolis acontecem predominantemente no período de outubro a março.

No final do período de estiagem na região, a primeira quinzena de setembro, deve-se fazer a análise do teor de umidade do lodo. A análise realizada neste trabalho apresentou resultado de 91,30% para o teor de umidade médio do lodo das lagoas anaeróbias, valores apresentados na Tabela 37. Considerando-se que o volume de lodo necessário para ocupar a metade da lagoa é de 20.300 m³, os valores apresentados no Gráfico 14, em resultados obtidos para umidade de lodos retirados de ETAs e de curtumes destinados a lagoas de secagem, é de se esperar que a umidade do lodo das lagoas anaeróbias desativadas atinja o valor de 65% em setembro, com volume reduzido para 6.090 m³. Se a remoção de lodo for de apenas 90% do total acumulado, o volume a ser retirado passará para 5.481 m³.



Fonte: Andreoli, Sperling e Fernandes (2001)

Gráfico 14 Variação do volume de lodo em função do teor de sólidos secos (cuja consistência pode variar em condições específicas)

Também foi analisada a alternativa mais desfavorável quando umidade no final do período de estiagem fosse maior, atingindo 75%, nesse caso o volume de lodo a ser retirado da lagoa seria de 7.308 m³.

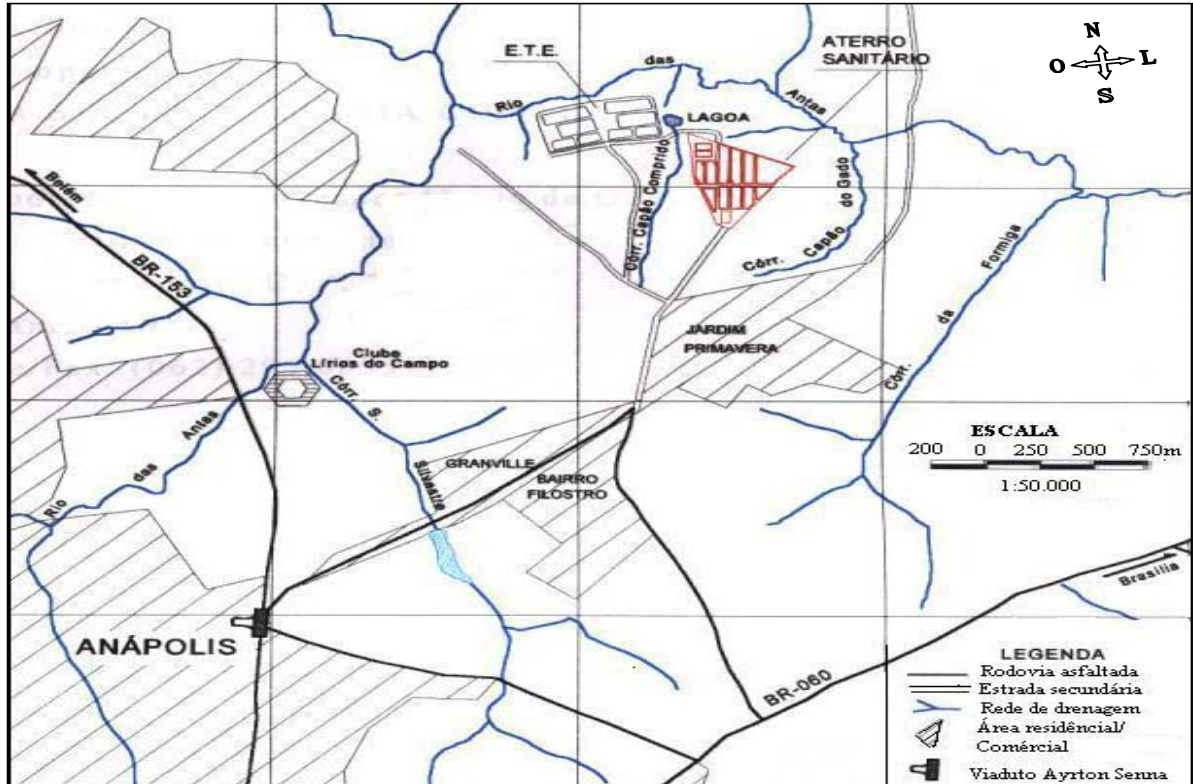
De posse desses resultados, será possível trabalhar preferencialmente com duas hipóteses:

- a) teor de umidade do lodo próximo a 75%;
- b) teor de umidade do lodo próximo a 65%.

Acontecendo a hipótese (a), haverá necessidade de remoção de 7.308 m³ de lodo aproximadamente. Com esse teor de umidade, a entrada de caminhões no interior das lagoas torna-se mais difícil, o que indica como melhor opção utilizar caminhões limpa-fossa. A utilização desse equipamento requer monitoramento contínuo do teor de umidade do lodo, para assegurar as condições técnicas de operação.

O lodo a ser retirado da lagoa poderá ser encaminhado ao aterro sanitário municipal de Anápolis, localizado a 2 km das lagoas, ou ser levado para leitos de secagem que seriam construídos na área da ETE e posteriormente utilizado na reciclagem agrícola ou na recuperação de áreas degradadas.

Ocorrendo a hipótese (b), o volume de lodo a ser retirado será de 5.481 m³; o lodo poderá ser encaminhado para o aterro sanitário ou utilizado na recuperação de áreas degradadas, ou ainda aproveitado na reciclagem agrícola. Nas duas últimas hipóteses, o lodo poderá passar por processo de higienização. A localização do aterro sanitário, em relação à ETE–Anápolis, encontra-se apresentada no Mapa 1.



Fonte: Mapa do município de Anápolis, adaptado (março, 2006).

Mapa 1 Localização do aterro sanitário e da ETE–Anápolis

5.15.2.2 Situação de áreas degradadas suscetíveis a reciclagem agrícola com lodo da ETE–Anápolis

O município de Anápolis possui área de 918 km². A administração pública da cidade não dispõe de levantamento preciso das áreas degradadas no município, oriundas principalmente, da retirada de cascalho. As informações da secretaria do meio ambiente permitem estimar áreas superiores 100 ha com solo desnudo e compacto, bastante suscetível à erosão. As Fotografias 18 e 19 apresentam áreas degradadas no município de Anápolis.

A zona rural do município, de acordo com as características levantadas pelo plano diretor de Anápolis (2006), apresenta solo do tipo latossolo, com avançado estágio de intemperismo e processo intensivo de lixiviação, com carência de

elementos nutrientes para as plantas, apontando para a possibilidade de aproveitamento do biossólido como auxílio para adubação e correção de pH dessas áreas.



Fonte: SEMMARH – Anápolis

Fotografia 18 Erosão localizada no Bairro Polocentro, no município de Anápolis



Fotografia 19 Vista da região de onde foi retirado cascalho

5.15.2.3 Custos envolvidos com as operações de higienização, coleta e transporte de lodo de uma lagoa anaeróbia

- **Análise econômica**

Para se realizar um estudo econômico das três alternativas para a retirada do lodo das lagoas anaeróbias da ETE–Anápolis, seria necessária a utilização de uma técnica que permitisse a mensuração dos benefícios que comparados aos custos trariam um resultado para a escolha da melhor alternativa, sob o aspecto econômico.

Existe uma variedade de técnicas que visam medir o valor dos bens e serviços não comercializados em mercados formais, as quais podem ser aplicadas na quantificação dos benefícios gerados pela proteção e preservação ambiental.

O método mais utilizado é o da Avaliação Contingente, cujo objetivo é proporcionar uma estimativa do valor monetário dos benefícios gerados por obras e serviços, tais como despoluição de praias, preservação de parques, tratamento de esgotos sanitários (incluída a retirada do lodo), canalização dos cursos d'água, etc.

A técnica consiste em perguntar aos beneficiários potenciais de um projeto quanto estariam dispostos a pagar pelas melhorias ambientais, ou pela instalação dos serviços resultantes da implantação do projeto. A partir dessa informação sobre a disposição a pagar (DAP) dos beneficiários, o método deriva estimativa dos benefícios. Para essa finalidade uma pesquisa de campo faz-se necessária.

O caso em estudo, a retirada do lodo da ETE–Anápolis, seria apenas um componente do sistema de tratamento e disposição dos esgotos da cidade. A empresa responsável (SANEAGO) deveria fazer a pesquisa da DAP, que

comparadas aos custos do tratamento e disposição, determinaria a tarifa para esse fim (tarifa do tratamento e disposição isolada da fase da coleta).

Por se tratar de um trabalho de natureza acadêmica, e da SANEAGO não dispor do mencionado estudo, foi feita a opção por utilizar a simples comparação entre os custos financeiros para cada alternativa estudada. No caso a alternativa com o menor custo foi do uso de máquina e o destino do lodo para o aterro sanitário municipal.

a) Orçamento para utilização de caminhão limpa-fossa

No Quadro 18 encontram-se apresentados valores relativos ao custo de remoção do lodo através de caminhão limpa-fossa. Para efeito de orçamento, o tempo total para enchimento, deslocamento e retorno de um caminhão limpa-fossa ETE/aterro sanitário foi de uma hora. A capacidade do tanque do caminhão limpa-fossa é de 16 m³.

Quadro 18 Demonstrativo dos serviços para retirada de lodo por caminhões limpa-fossa

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
Caminhão	viagem	457	150,00	68.550,00
Aterro sanitário	m ³	7.308	25,00	182.700,00
Preço do serviço				251.250,00

¹Preços praticados no mercado de Anápolis em outubro de 2006.

A possibilidade de utilizar caminhão limpa-fossa e leito de secagem passa a ser desconsiderada, haja vista que, mesmo utilizando quatro períodos de descarte de lodo de 30 dias por ano, haveria necessidade de se construir 10.000 m² de leitos de secagem, aproximadamente 22 leitos de 15 m x 30 m. Além da grande área necessária, isso implicaria transporte e destinação para o lodo seco, o que torna essa opção financeiramente inviável, quando comparada com as demais opções. Experiências realizadas no estado do Espírito Santo, utilizando leitos de secagem para desidratação de lodo, causaram problemas com vizinhos devido ao mau cheiro exalado por esses leitos.

b) Orçamento com entrada de máquinas na lagoa

Acontecendo a hipótese b, em que a umidade do lodo se encontre próximo a 65%, haverá possibilidade de fazer a retirada do lodo da lagoa através de pás carregadeiras e de caminhões basculantes. A experiência realizada por Gonçalves (2000) em lagoas do Espírito Santo, possibilitou que no final de três meses em que a lagoa esteve desativada a possibilidade de se entrar nela e encontrar o lodo com aspecto muito bom em termos de umidade, para a remoção do mesmo.

Em lagoa primária (40 m x 50 m x 1,5 m) no Distrito Agro-industrial de Anápolis, que recebe esgoto das indústrias com tratamento preliminar, onde se faz a retirada de lodo anualmente, é possível reduzir a camada de lodo de 1,20 m para 0,80 m em dois meses de estiagem. Após este período é possível entrar com pá carregadeira e caminhão dentro da lagoa. A pá carregadeira prepara o local de manobra para os caminhões, amontoando o lodo, e carrega os caminhões toco com capacidade de 6 m³.

As lagoas devem oferecer totais condições de entrada de maquinário. O lodo retirado poderá ser levado para o aterro sanitário municipal, para recuperação de área degradada ou para reciclagem agrícola, numa distância máxima de 25 km. Se a opção para o destino do lodo for o aterro sanitário municipal, não haverá necessidade de higienização e a composição do custo para execução desse serviço encontra-se apresentada no Quadro 19.

Quadro 19 Demonstrativo dos serviços e custos para retirada e transporte de lodo para o aterro sanitário de Anápolis

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
Pá carregadeira	hora	100,00	80,00 ¹	8.000,00
Caminhão	km.m ³	21.924	0,74 ²	16.223,76
Aterro	m ³	5.481	25,00	137.025,00
Preço do serviço				161.248,76

¹ Preço praticado no mercado de Anápolis (out. 2006).

² Preço praticado pela SANEAGO na cidade de Goiânia.

Se o destino do lodo for a recuperação de área degradada ou reciclagem agrícola, haverá a necessidade de coleta de amostra composta do lodo para análise microbiológica e físico-química.

Caberá à SANEAGO, em parceria com a Prefeitura Municipal de Anápolis e produtores rurais, escolher as áreas degradadas ou as mais propícias para se fazer reciclagem agrícola dentro do município. Áreas estas que apresentarem melhores condições ambientais, técnicas e econômicas para o destino final do biossólido.

Os resultados apresentados nas Tabelas 39 e 40 relativos a coliformes termotolerantes e ovos de helmintos mostram a eficiência das lagoas na remoção de patógenos. Se for necessária a higienização, para efeito de orçamento, adotou-se a quantidade de cal requerida de 170 kg Ca(OH)₂ por tonelada de sólidos secos, seguindo a orientação de Sperling (2001). Os custos para a realização dessa operação são apresentados no Quadro 20, considerando-se a distância média de transporte de 20 km até a área degradada escolhida.

Quadro 20 Demonstrativo dos serviços e custos de higienização, carregamento e transporte e disposição do lodo

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
Higienização				
Cal hidratada	t	391,00	314,00	122.774,00
Trator	h	40,00	80,00	3.200,00
Preço do serviço				125.974,00
Carregamento e transporte				
Pá carregadeira	hora	100,00	80,00 ¹	8.000,00
caminhão	km.m ³	109.650,00	0,74 ¹	81.141,00
Preço do serviço				89.141,00
Disposição do lodo	ha	38,37	7.304,32 ²	280.266,76
Preço do serviço				280.266,76
Preço total				495.381,76

¹ Preço praticado no mercado de Anápolis.

² Base de preço unitário – SANEAGO–Goiânia, agosto (2006).

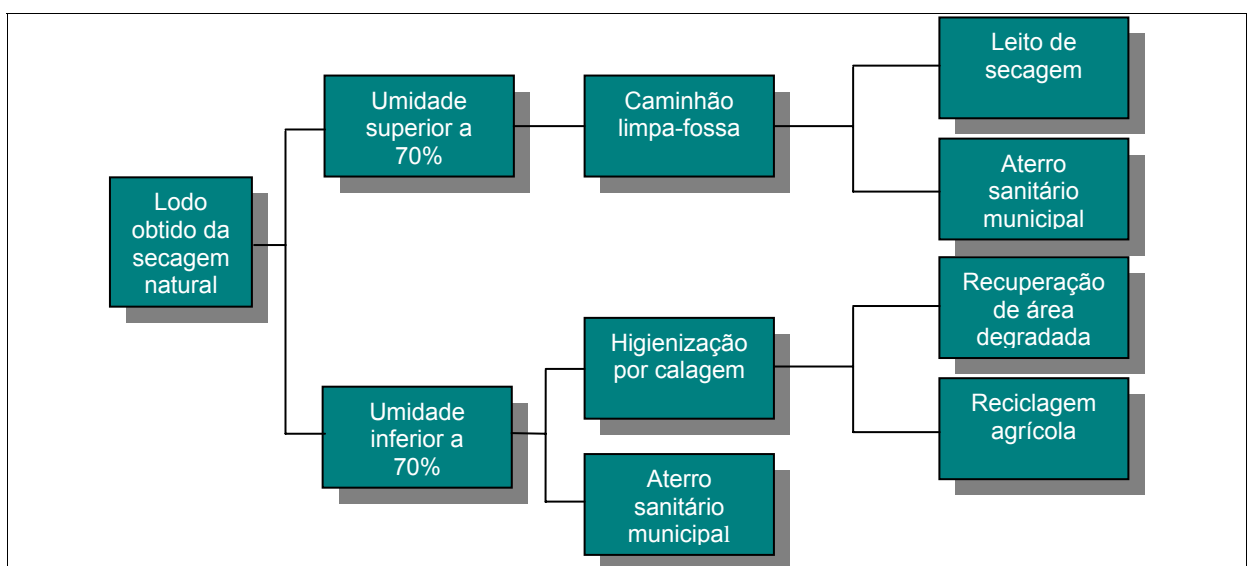
Nota: Os valores oferecidos pela SANEAGO são para recuperação de áreas degradadas com plantio de *Eucalyptus urophylla*.

Foram considerados para reciclagem agrícola e recuperação de áreas degradadas os mesmos valores unitários que são praticados pela SANEAGO–Goiânia para a recuperação de áreas degradadas a 25 km de distância da ETE.

Também foi considerada para efeito de orçamento a mesma taxa de lodo (base seca) aplicada por área, 60 t/ha, experiência praticada com lodo da ETE–Hélio de Brito de Goiânia, considerando-se 1,2 para o peso específico do lodo.

Se for adotada taxa inferior a 60 t/ha, a área requerida para disposição aumentará imediatamente, e o valor do item disposição de lodo, que representa cerca de 50% da operação total de gerenciamento do lodo retirado, provocará acréscimo financeiro substancial no serviço a ser realizado.

Uma síntese das diversas situações apresentadas para o gerenciamento do lodo das lagoas anaeróbias é apresentada no Esquema 5. Após o quadro “leito de secagem” não consta nenhuma proposta, haja vista que esta alternativa, apesar de possível, foi descartada pelo alto custo para implantação. A síntese dos orçamentos, para cada alternativa apresentada no plano de gerenciamento do lodo pode ser vista no Quadro 21.



Esquema 5 Alternativas de gerenciamento do lodo

Quadro 21 Demonstrativo dos custos totais para cada proposta

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	495.381,76

5.15.2.4 Avaliação das propostas de gerenciamento do lodo

Neste estudo, a possibilidade de se conseguir o menor teor de umidade do lodo, proporcionando a retirada desse material com máquinas e tendo como destino o aterro sanitário, é a melhor proposta em termos financeiros. No entanto, essa proposta é criticada por alguns estudiosos do assunto, que entendem não ser esta a solução ambientalmente correta, uma vez que:

- oferece risco ao meio ambiente (poluição das águas superficiais, do solo e das águas subterrâneas);
- necessita de área extensa para o destino do lodo;
- despreza a matéria-prima do lodo, que pode ser aproveitada em áreas degradadas e até mesmo na agricultura.

A possibilidade de uso do lodo de ETEs na reciclagem agrícola apresenta, até o momento, algumas barreiras, que vão do pouco conhecimento da técnica, até o custo de toda a operação desencadeada no processo da retirada do lodo, até o acompanhamento ao local do descarte, passando pela pouca experiência com essa atividade. Contudo, a grande quantidade de áreas degradadas no município de

Anápolis implica a obrigação de políticas de reconstituição do solo e flora por parte dos administradores. O lodo, por suas propriedades físico-químicas, pode ser utilizado como composto orgânico na recuperação dessas áreas, em substituição à adubação química.

Com as exigências ambientais cada vez mais restritivas em relação a desmatamentos, e a possibilidade de se criar alternativas na produção de combustíveis como biodiesel, a utilização do biossólido em aplicação de plantações florestais tipo eucalipto ou em cultivo de espécie tipo mamona pode-se apresentar como alternativa para o lodo produzido em ETEs como o que acontece em Anápolis.

Dentre as alternativas para a disposição do lodo de esgoto, apresentadas neste trabalho, a reciclagem agrícola vem sendo utilizada com sucesso em diversas culturas, embora seja a opção mais onerosa que foi apresentada.

A utilização do lodo de ETEs na agricultura, respeitados os critérios legais, surge como uma das melhores opções para o destino desse resíduo. Além de diminuir custos para os produtores rurais, pode apresentar a solução definitiva para o conflito gerado pela utilização de áreas para o descarte do lodo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

O destino dos resíduos sólidos produzidos na Estação de Tratamento de Esgoto de Anápolis já foi objeto de questionamento, tanto do Ministério Público quanto da Agência Goiana do Meio Ambiente. Como a SANEAGO não dispunha de um plano de gestão desses resíduos já elaborado, limitou-se a informar esses órgãos sobre a rotina cumprida na ETE no tocante a esse aspecto.

Em linhas gerais, a coleta e o transporte do material gradeado vêm ocorrendo de forma inadequada e sem o cuidado no uso devido de equipamentos de proteção por parte dos funcionários, sobretudo daqueles cujas atribuições relacionam-se com o manejo dos produtos gerados no processo de tratamento.

O volume de resíduos retidos nas grades, cuja média é de 107 L/dia, foram coerentes com valores observados em outras ETEs do Brasil. Com relação à composição gravimétrica, o material têxtil foi o mais representativo, seguido por plástico, material orgânico e areia.

A operação de retirada, transporte e destinação da areia retida nos desarenadores era bastante semelhante à realizada com o material retido nas grades, necessitando, portanto, de um plano de gerenciamento. O volume de areia retido (805 L/dia) foi compatível com os valores encontrados em outras ETEs do Brasil. Os teores de umidade da areia e da matéria orgânica presente nela superaram os valores mencionados na literatura técnica.

A utilização do aparelho do tipo haste de PVC com disco em fibra de vidro ofereceu resultados mais confiáveis do que o *sludge judge*, aparelho cujos dados

deixaram muitas dúvidas no tocante à precisão. Além disso, o aparelho de PVC possibilitou um manuseio mais fácil e seu custo foi muito baixo.

A taxa volumétrica de lodo *per capita* encontrada nas lagoas da ETE–Anápolis foi de 0,065 L/hab.dia e a taxa linear de acumulação, de 8,97 cm/ano. O volume do lodo produzido em lagoas de estabilização pode ser menor do que o citado em várias publicações consultadas, quando se tem o tratamento preliminar funcionando bem e cargas orgânicas que chegam às lagoas dentro de limites preconizados nos projetos. O lodo produzido fica, quase na totalidade, retido nas lagoas primárias e sua distribuição nas lagoas acontece de forma aleatória.

As concentrações de metais pesados nos lodos das lagoas anaeróbias de Anápolis foram relativamente baixas, quando comparadas com valores citados na literatura e bastante inferiores aos estabelecidos na Resolução n. 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006), que estabelece critérios para o uso do lodo na agricultura.

6.2 Recomendações

Os resíduos retidos nas grades devem ser colocados em contêineres ao lado do tratamento preliminar e todo material depositado deve ser encaminhado para o aterro sanitário municipal de Anápolis. Os resíduos retidos nas grades nos 16 anos de operação da ETE, enterrados em valas próximas ao tratamento preliminar, devem ser removidos e também encaminhados ao aterro sanitário municipal.

Recomenda-se perfurar as lajes que recebem o material das grades, a fim de possibilitar que a água presente no material possa percolar pelos orifícios e cair no canal de entrada da ETE, retornando ao tratamento.

A areia retirada nos desarenadores deve ser lançada diretamente nos contêineres e o seu destino deve ser o aterro sanitário municipal, assim como a areia que foi enterrada na área da ETE.

O plano de gerenciamento dos resíduos sólidos deve constar obrigatoriamente nos projetos executivos e nos manuais de operação das ETEs.

O volume de lodo produzido nas lagoas de estabilização carece de mais estudos, pois os resultados levantados e os trabalhos apresentados até o presente mostram grande discrepância de valores. Há a necessidade de monitoramento do volume de lodo depositado ao longo do tempo, de modo a facilitar o planejamento de sua gestão, evitando que ocorram improvisações ou ações emergenciais na operação do sistema. Estudos que apontem o valor final da umidade do lodo desaguado dentro das próprias lagoas poderão contribuir para o plano de gerenciamento desse resíduo nas ETEs.

Quanto ao processo de secagem do lodo de lagoas, quando se tem lagoas em paralelo e com volumes úteis suficientes para suportar a carga orgânica da lagoa a ser retirada de operação, como no caso da ETE–Anápolis, a melhor solução parece ser a secagem natural do lodo na própria lagoa. Alcançando teor de umidade abaixo de 65%, no final do período de seca, é possível retirar o lodo das lagoas com caminhões e máquinas. O teor de umidade deve ser monitorado, pois, não sendo possível a entrada de caminhões e tratores, deve ser planejada a retirada do lodo com caminhões limpa-fossa.

Quanto à disposição final do lodo das lagoas, no caso específico da ETE–Anápolis, cujo aterro sanitário municipal foi construído na área da própria ETE e ainda dispõe de áreas para expansão, a opção de levar o lodo para esse aterro passa a ser a mais viável financeira e operacionalmente. A opção de se levar o lodo

produzido na ETE–Anápolis para áreas degradadas e/ou também usá-lo na agricultura é bastante interessante, pois somente no perímetro urbano existem mais de 60 localidades tomadas por erosão e mais de 55 ha de solo desnudo e compactado, em consequência da exploração de cascalho. A escolha de áreas para destinação do lodo na ETE deve ser precedida de análise técnica, como altura do lençol freático, características químicas do solo e topografia.

A realização de experimentos para medição do volume de lodo em lagoa com a utilização de variados aparelhos, seguida de esvaziamento da lagoa para a aferição deles, pode ser uma experiência importante para a definição de métodos mais seguros e confiáveis para este fim. A continuidade dos estudos relativos a resíduos produzidos em ETEs, com enfoque maior para o lodo e suas características físico-químicas e microbiológicas, proporcionará aos projetistas e operadores de ETEs ferramentas importantíssimas para projetos e gerenciamento de sistemas de tratamento de esgotos.

É importante dar todas as condições de segurança aos funcionários que cuidam da manutenção da ETE, como também oferecer-lhes cursos esclarecedores quanto ao risco à sua saúde e para a manutenção da qualidade do meio ambiente.

É importante que as diversas esferas do poder público criem programas de conscientização da comunidade quanto às consequências de lançamentos indevidos nas redes coletoras de esgoto, a fim de evitar que se comprometa a qualidade do lodo produzido. Ao mesmo tempo, é preciso levar à população, principalmente a da zona rural, informações sobre as vantagens advindas do uso de biossólido na agricultura. A criação de programas para utilização do lodo de ETEs, em determinadas culturas, pode ser uma experiência bem-sucedida, principalmente se o produtor rural tiver conhecimento dos valores incorporados ao biossolo, produto em

condições de substituir outros insumos normalmente necessários à agricultura, particularmente os orgânicos, de origem animal ou vegetal. O mapeamento de áreas próximas às ETEs, relacionadas com culturas apropriadas e permitidas pela legislação ambiental, será de grande valia.

Também parece promissora a criação, por parte da empresa concessionária, de grupos de trabalho em conjunto com as prefeituras municipais, a fim de catalogar áreas degradadas que necessitem de correção da composição de solo. Após esse levantamento, o próprio grupo poderá elaborar um projeto que contemple a recuperação dessas áreas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB 2185**. Grades de barras retas, de limpeza manual. Rio de Janeiro, 1991. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 570**. Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1990. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**. Apresentação de projetos de aterros de resíduos. Rio de Janeiro, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**. Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro, 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**. Amostragem de resíduos - procedimento. Rio de Janeiro, 2004b.
- ALVES, C. G. B. et al. Estudo das condições operacionais de uma lagoa anaeróbia profunda e produção de lodo durante o seu tempo de funcionamento na estação de tratamento de esgotos da bacia do rio Paraíba em João Pessoa. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005. 1 CD-ROM.
- ANÁPOLIS. Prefeitura Municipal. Secretaria de Infra-estrutura. **Plano diretor participativo**. Anápolis, 2006. 1 CD-ROM.
- ANDRADE NETO, C. O. de. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- ANDREOLI, C.; SPERLING, M. von; FERNANDES, F. (Org.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA-UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001.
- ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment for pollution control**. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 1981.
- AZEVEDO NETTO, J. M. de et al. **Sistemas de esgotos sanitários**. São Paulo: CETESB, 1977.
- BOFF, L. **Ecologia: grito da terra, grito dos pobres**. Rio de Janeiro: Sextante, 2004.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil (1988). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 out. 1988. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 29 out. 2006.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 abr. 1989.

BRASIL. Lei n. 6.225, de 14 de julho de 1975. Dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jul. 1975.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 set. 1981.

BRASIL. Lei n. 7.804, de 18 de julho de 1989. Altera a Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei n. 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei n. 6.803, de 2 de junho de 1980, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 jul. 1989.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Serviço Nacional de Informações e Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, DF, 2002.

CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CASSINI, S. T. (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamentos do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CLARK, B. J.; MORRIS, J. M. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3rd ed. New York: McGraw Hill, 1991.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Denver: American Water Works Association, 1999. 1220 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. **Remoção de resíduos das estações de tratamento de esgoto de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. **Remoção de resíduos das estações de tratamento de esgoto de Brasília**. Brasília, DF, 2005.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Remoção de resíduos das estações de tratamento de esgoto de São Paulo**. São Paulo, 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO PARANÁ. **Remoção de resíduos das estações de tratamento de esgoto de Curitiba**. Curitiba, 2005.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO TOCANTINS. **Remoção de resíduos das estações de tratamento de esgoto de Palmas**. Palmas, 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas**. Critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. (Norma, P.4230).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo, 1989.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 1, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 5, de 15 de junho de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jun. 1988a.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 237, de 19 de dezembro de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 dez. 1988b.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 302, de 20 de março de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 mar. 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 mar. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. 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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Dados meteorológicos**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

FELIZATTO, M. R. et al. Estimativa da acumulação de lodo em lagoas de tratamento anaeróbio tratando esgotos domésticos – o caso da ETE de Brazlândia-DF. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005. CD-ROM. 1 CD-ROM.

FERNANDES, C. **Esgotos sanitários**. João Pessoa: UFPB, 1997.

FERREIRA, A. B. de H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

GOIÁS. Agência Goiana do Meio Ambiente. **Portaria n. 006/2001-N**. Goiânia, 7 mar. 2001. Disponível em: <http://www3.agenciaambiental.go.gov.br/site/legislacao/01_legis_port_agenc_06_01.php>. Acesso em: 3 nov. 2005.

GOIÁS. Decreto n. 1.745 de 6 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o controle de poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado**, Goiânia, 6 dez. 1979.

GOIÁS. Lei n. 8.544, de 17 de outubro de 1978. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado**, Goiânia, 17 dez. 1978.

GOIÁS. Lei n. 14.248, de 29 de julho de 2002. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Goiânia, 5 ago. 2002.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Rio de Janeiro: ABES, 2000. 80 p.

IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. 2005. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp?o=17&i=P>>. Acesso em: 3 nov. 2005.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: E. Blücher, 1996.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Belo Horizonte: Segrac, 2005.

KONIG, A. **Conceitos teóricos e práticos na avaliação do funcionamento de sistemas de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização**. João Pessoa, 2001. Mimeografado.

MARA, D. D.; SILVA, S. A. Removal of intestinal nematode eggs in tropical waste stabilization ponds. **Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 89, n. 2, p. 71–74, 1986.

MENDONÇA, S. R. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**. João Pessoa: UFPB, 1990.

PELLEGRINO, S. A. C. **Gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: sistematização de diretrizes e procedimentos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)–Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2003. Disponível em: <http://www.btdt.ufscar.br/tde_arquivos/11/TDE>. Acesso em: 15 fev. 2007.

RIZO, M. R. **PCA – plano de controle ambiental de área degradada por extração de cascalho eluvionar**. Goiânia, 2005. Mimeografado.

SANEAMENTO BÁSICO DE GOIÁS. **Remoção de resíduos das estações de tratamento de esgoto de Goiânia**. Goiânia, 2006.

SANEAMENTO BÁSICO DE GOIÁS. **Sistema de desenvolvimento e melhoria operacional-variáveis totalizadas**. Goiânia, 2005.

SANEAMENTO BÁSICO DE GOIÁS. **Sistema de esgoto, Santa Helena de Goiás**. Projeto Básico- PASS/BID. Goiânia, 1998. v. 1.

SIGMA ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. **Sistema de esgoto sanitário-Anápolis**: memorial descritivo e justificativo. Goiânia, 1985.

SILVA, S. A.; MARA, D. D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias**: lagoas de estabilização. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140 p.

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

SPERLING, M. von. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. 2 ed. São Paulo: ABES, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR part 503**. Office of Water, Office of Science and Technology Sludge Risk Assessment Branch. EPA/625/R-92/013. Washington, DC, 1992. (20460.)

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para clima quente. Campina Grande: UFPB, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents**: methods of wastewater treatment and health safeguards. Geneva, 1973. (Technical Report Series, 517).

APÊNDICES

APÊNDICE A. Material retido no tratamento preliminar em diversas ETEs do Brasil

Tabela 41 Material retido no tratamento preliminar nas ETEs de Belo Horizonte–MG em 2005

ETE	Volume tratado (m ³ /ano)	Material gradeado (L) ¹	Areia retida (L)	Volume gradeado/vol. tratado (L/m ³) ²	Volume areia/vol. tratado (L/m ³)
Vespasiano	1798.079	4.512	128.615	0,003	0,072
Cristina	1.944.763	12.631	71.385	0,006	0,037
Morro Alto	612.941	959	42.000	0,002	0,068
Lagoa Santa	1.675.495	1586	30.461	0,001	0,018
Confins	85.173	531	N.I.	0,012	N.I
Arrudas	40.340.851,2	182.075	591.700	0,005	0,015

¹ Foi considerado o valor de 800 kg/m³ como peso específico do material gradeado.

² Foi considerado o valor de 1.200 kg/m³ como peso específico da areia.

Fonte: Companhia de Saneamento Ambiental de Minas Gerais (2006).

Tabela 42 Material retido no tratamento preliminar na ETE Hélio de Brito de Goiânia–GO em 2005

MÊS 2005	Detritos retidos grade grossa (7,5 cm) (kg/mês)	Detritos retidos grade fina (1,3 cm) (kg/mês)	Areia retida (kg/mês)	Volume de esgoto tratado (m ³ /mês)	Volume retido de detritos nas grades/volum e tratado (L/m ³)	Volume retido de areia/volum e tratado (L/m ³)
Janeiro	6.200	13.700	85.280	3.136.406	0,008	0,021
Fevereiro	4.200	11.100	46.560	2.878.848	0,007	0,012
Março	5.000	16.000	70.400	3.988.138	0,007	0,014
Abril	5600	16.000	79.200	3.988.138	0,007	0,015
Maior	2.000	9.400	63.040	2.962.310	0,005	0,021
Junho	3.800	7.700	48.320	2.711.232	0,005	0,014
Julho	3.600	9.000	43.680	2.528.410	0,006	0,013
Agosto	1.189	4.360	55.520	2.686.874	0,003	0,015
Setembro	3.171	5.401	59.225	2.740.532	0,004	0,017
Outubro	3.072	8.919	61.953	2.827.757	0,005	0,017
Novembro	-	6.194	96.300	3.216.571	0,002	0,023
Dezembro	2.174	4.870	98.720	3.793.828	0,002	0,020

Tabela 43 Material retido no tratamento preliminar em ETEs de São Paulo–SP em 2005

ETE	Mat. grad. (kg/dia)	Areia (kg/dia)	Grade grossa (10cm)	Grade média (2cm)	Grade fina (1cm)	Vazão (m ³ /s)	Vol. grad./vol. tratado (L/m ³) ³	Volume areia/vol. tratado (L/m ³) ⁴
ABC	176	4.461	Mecan.	Mecan.	Mecan.	1,27	0,002	0,034
Barueri	4.895	4.441	Manual	NE ²	Mecan.	6,53	0,001	0,006
Parque Novo Mundo ¹	65	1.020	Mecan.	NE	N.E	1,95	0,0005	0,005
São Miguel	174	1.582	Mecan.	NE	Mecan.	0,598	0,004	0,023
Suzano	77	1.814	Manual	NE	Mecan.	0,693	0,002	0,023

Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado De São Paulo (2006)

¹ Esta ETE apresenta deficiência no gradeamento.

² NE – não existente.

³ Foi considerado para cálculo, peso específico do material gradeado de 800kg/m³

⁴ Foi considerado para cálculo, peso específico da areia de 1.300kg/m³.

Tabela 44 Material retido nas grades finas (espaçamento entre barras 2,0 cm) nas ETEs–Palmas–TO em 2004

ETE	Volume tratado (m ³) média mensal (2004)	Material retido (m ³)	Volume retido/volume tratado (L/m ³)
Prata	16.928,75	0,3336	0,020
Aureny	71389,82	1,766	0,025
Brejo Comprido	34.596,65	0,4482	0,013
Vila União	62479,65	1,1134	0,018

Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Tocantins (2004)

Tabela 45 Material retido no tratamento preliminar na ETE Padilha do Sul em Curitiba–PR em 2005

Material gradeado-espaçamento 2,0 cm (m ³ /mês)	Areia retida (m ³ /mês)	Vazão (m ³ /mês)	Volume gradeado/volume tratado (L/m ³)	Volume de areia/volume tratado (L/m ³)
12	63	427.680	0,028	0,147

Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Paraná (2005).

Tabela 46 Material retido no tratamento preliminar na ETE Uberabinha em Uberlândia–MG em jul. 2005

Material gradeado-espaçamento 1,0 cm (L/mês)	Volume tratado m ³ /mês)	Volume gradeado/volume tratado (L/m ³)	Areia retida (L/mês)	Volume de areia/volume tratado (L/m ³)
44.363	2.461.450	0,018	30.446	0,012

Fonte: Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE)¹

¹ Comunicação pessoal. Gerente da ETE de Uberlândia, fev. 2006.

Tabela 47 Material retido no tratamento preliminar em ETEs de Brasília, DF no período 2001-2005

ETE	Abert. grade grossa (cm)	Abert. grade fina (cm)	2001		2002		2003		Abert. grade grossa (cm)	Abert. grade fina (cm)	2004		2005	
			Grad. (m ³ /ano)	Desaren. (m ³ /ano)	Grad. (m ³ /ano)	Desaren. (m ³ /ano)	Grad. (m ³ /ano)	Desaren. (m ³ /ano)			Grad. (m ³ /ano)	Desaren. (m ³ /ano)	Grad. (m ³ /ano)	Desaren. (m ³ /ano)
Sul	5,0	1,5	62	2.814	66	2.999	64	2.903	5,0	1,5	67,5	3063	63,7	2870
Norte	5,0	1,5	28,7	1.414	29,4	1.447	28	1.396	5,0	1,5	30,1	1492	27,7	1441
Paranoá	5,0	1,5	28,2	126	25,8	113	27,1	119	5,0	1,5	17,9	37,9	15,9	34,4
Planaltina	5,0	0,5	30	226	50	521	57	403	5,0	0,5	70,0	273	42,8	208
Sobradinho	NR	2,0	26	780	19	282	21	510	NR	2,0	53,0	479	76,3	556
S. Sebastião	5,0	1,0	26	147	29	220	40	179	5,0	1,0	41	84	54,2	81
Vale do Amanhecer	5,0	1,5	3,5	12	4,0	32	4,0	15	5,0	1,5	0,0	34	0,0	23
Riacho Fundo	5,0	1,0	309,4	26	311,7	34	335,8	45	5,0	1,0	350,6	37	376,9	39
ETE Samambaia	5,0	0,5	0,0	323	20,0	436	70,2	357	5,0	0,5	80,5	422	80,5	293
Recanto das Emas	5,0	0,5	41,9	268	45,4	290	48,0	305	5,0	0,5	69,5	279	66,2	297
Alagado	5,0	0,5	99,0	389,0	93,0	542,0	59,0	354,0	5,0	0,5	39	200	26,9	184
Santa Maria	5,0	0,5	67,0	298,0	58,0	373,0	49,0	354,0	5,0	0,5	41	149	65,7	260
Brazlândia			20,3	30,4	20,8	31,4	18,1	27,2	N.I. ¹	N.I.	15,9	23	15,9	19
Gama	5,0	0,5	-	-	-	-	-	-	5,0	0,5	153,0	526	125,5	623
Torto			1,2	9,6	1,2	9,6	1,1	4,9	NI	NI	1,2	2,3	1,1	2,1
Melchior	10,0	0,5	-	-	-	-	-	-	10,0	0,5	32,7	137	391,0	1.854

¹ NI – não informado.

Fonte: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2005)

Tabela 48 Total de material retido no tratamento preliminar em ETEs de Brasília, DF no período 2001-2005

ETE	Volume de esgoto tratado em 5 anos (m ³)	Taxa de material retido nas grades (m ³ /m ³)	Taxa de material retido no desarenador (10 ⁻⁵ m ³ /m ³)
Sul	153.812.544	0,0021	9,52
Norte	70.225.776	0,0020	10,24
Paranoá	5.962.776	0,0193	7,21
Planaltina	11.368.548	0,0220	14,34
Sobradinho	10.015.980	0,019	26,02
São Sebastião	9.266.100	0,020	7,67
Vale do Amanhecer	1.453.752	0,031	7,97
Riacho Fundo	4.862.148	0,346	3,74
Samambaia	24.933.300	0,010	7,34
Recanto das Emas	14.050.836	0,019	10,24
Alagado	6.988.332	0,045	23,88
Santa Maria	4.107.324	0,068	34,90
Brazlândia	5.368.128	0,017	2,45
Gama	11.156.160	0,025	10,3
Torto	360.000	0,016	7,97
Melchior	9.193.152	0,046	21,66
Média geral		0,044	12,84

Fonte: COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (2005)

APÊNDICE B. Tabelas de vazões na ETE–Anápolis–GO

Tabela 49 Média anual das vazões horárias na ETE–Anápolis – 2005

HORA	VAZÃO (L/s)	HORA	VAZÃO (L/s)
0	273,88	12	322,90
1	259,84	13	336,53
2	240,46	14	340,80
3	236,04	15	341,45
4	222,37	16	347,22
5	210,28	17	345,16
6	200,45	18	346,93
7	201,36	19	339,85
8	216,39	20	323,58
9	246,18	21	311,06
10	282,96	22	295,54
11	305,25	23	285,99

Tabela 50 Vazões no dia de maior consumo de 2005, 9 dez. 2005

HORA	VAZÃO (L/s)	HORA	VAZÃO (L/s)
0	716	12	455
1	741	13	461
2	875	14	428
3	880	15	428
4	891	16	413
5	895	17	450
6	899	18	716
7	1000	19	746
8	1000	20	780
9	532	21	762
10	411	22	646
11	455	23	599

Tabela 51 Vazões no dia de menor consumo de 2005, 2 mar. 2005

HORA	VAZÃO (L/s)	HORA	VAZÃO (L/s)
0	270	12	560
1	235	13	510
2	216	14	394
3	182	15	350
4	182	16	330
5	165	17	309
6	149	18	309
7	149	19	309
8	165	20	394
9	198	21	350
10	270	22	330
11	440	23	440

Tabela 52 Média de vazão em dias com chuva em 2005

HORA	VAZÃO (L/s)	HORA	VAZÃO (L/s)
0	291,13	12	342,76
1	276,21	13	357,23
2	255,60	14	361,76
3	250,20	15	362,45
4	236,38	16	368,58
5	223,53	17	366,39
6	213,08	18	368,27
7	214,05	19	363,75
8	230,02	20	343,48
9	261,32	21	330,19
10	300,36	22	313,71
11	324,02	23	303,58

Tabela 53 Média de vazão em período de estiagem em 2005

DIA	MÉDIA DE VAZÃO (L/s)					
	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO
1	269	271	255	261	267	265
2	274	268	262	270	270	271
3	275	274	269	250	265	259
4	268	265	260	276	255	263
5	273	268	265	269	255	266
6	278	273	269	270	274	258
7	268	267	262	251	271	270
8	269	271	251	272	266	272
9	279	271	264	264	278	249
10	281	264	266	271	270	270
11	273	272	261	270	257	265
12	271	270	265	264	264	259
13	274	265	271	268	265	265
14	271	271	275	253	263	289
15	278	267	258	261	267	286
16	271	279	258	274	269	251
17	269	280	259	266	262	270
18	278	265	266	271	264	268
19	270	268	263	290	279	274
20	273	271	272	271	270	272
21	271	269	284	254	262	269
22	271	267	276	269	270	280
23	268	271	275	268	252	249
24	265	269	272	269	298	340
25	278	271	281	270	294	286
26	282	265	268	272	269	269
27	271	267	270	281	279	272
28	269	274	274	259	300	285
29	275	265	271	263	277	274
30	273	269	278	267	273	258
31	265		270	269		261

Tabela 54 Média de vazão em dias com intensas precipitações em 2005

HORA	VAZÃO (L/s)	HORA	VAZÃO (L/s)
0	314,38	12	370,00
1	295,10	13	382,00
2	273,20	14	389,20
3	274,90	15	390,95
4	260,00	16	397,80
5	241,30	17	396,02
6	222,10	18	398,10
7	230,10	19	390,10
8	248,40	20	367,70
9	282,60	21	355,00
10	324,80	22	327,00
11	351,70	23	330,15

APÊNDICE C. Precipitações na região de Anápolis–GO

Tabela 55 Relação da precipitação diária no ano de 2005

Dia	PRECIPITAÇÃO (mm)											
	MÊS											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	1,25	20,3	3,3	-	-	-	-	-	-	1,5	12,0	2,0
2	-	34,5	14,8	3,0	-	-	-	-	-	3,25	17,0	12,75
3	14	-	18,8	5,0	-	-	-	-	3,5	-	17,0	19,0
4	0,25	-	26,8	3,0	-	-	-	-	-	0,25	14,0	1,75
5	16,5	-	5,0	1,0	-	-	-	-	-	2,75	8,25	28,25
6	0,75	-	1,3	14,0	-	-	-	-	2,3	1,0	6,0	22,75
7	27,75	21,0	4,5	-	-	-	-	-	2,8	-	-	1,25
8	2,5	31,5	16,3	10,0	-	-	-	-	-	-	-	18,5
9	14,5	0,5	0,3	3,0	-	-	-	-	-	-	1,0	59,75
10	17,5	-	21,3	1,0	-	-	-	-	-	-	30,0	1,0
11	-	6,5	28,7	18,0	-	-	-	-	-	-	3,75	21,5
12	-	25,0	-	-	-	-	-	-	-	-	11,75	14,75
13	-	-	46,3	1,0	9,5	-	-	-	-	15,75	3,0	14,0
14	-	-	0,8	3,0	0,3	-	-	-	-	-	3,0	0,25
15	-	-	4,0	6,0	0,8	-	-	-	0,3	-	3,5	-
16	-	0,5	0,8	-	0,8	-	-	-	-	-	3,75	2,25
17	-	-	2,3	12,0	6,0	-	-	-	-	-	3,75	4,0
18	-	4,0	10,0	-	-	2,0	-	-	-	2,25	25,75	0,25
19	4,25	9,0	22,0	-	-	0,5	-	-	-	-	0,5	-
20	-	-	4,8	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-	1,75	5,25
22	-	-	0,3	-	-	-	-	-	2,8	1,5	3,75	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	4,8	3,75	0,25	-
24	0,75	-	-	-	-	-	-	-	2,8	4,0	-	-
25	0,50	22,0	14,0	-	-	-	-	0,5	0,5	1,5	-	-
26	4,50	-	4,3	-	-	-	-	-	1,0	-	15,0	3,0
27	10,75	-	29,0	-	-	-	-	-	-	-	8,5	-
28	-	4,0	12,5	-	-	-	-	-	2,3	-	5,0	5,5
29	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	10,5	25,5	1,25
30	24,25	-	18,8	-	-	-	-	-	5,5	18,75	13,25	0,25
31	0,25	-	0,3	-	-	-	-	-	-	3,25	-	1,25

Fonte: rpaz@sectec.go.gov.br 22/02/2006 15:16

Tabela 56 Quantidade de precipitação diária acima de 5 mm

ANO	PRECIPITAÇÃO (mm)											
	MÊS											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2001	12	10	11	6	2	-	-	1	2	5	6	13
2002	13	9	8	2	3	-	-	-	2	3	6	13
2003	18	7	11	5	1	1	-	1	4	10	9	9
2004	18	19	11	6	4	-	-	-	-	9	9	11
2005	7	8	14	6	2	-	-	-	1	3	14	11

APÊNDICE D. Material retido nas grades e no desarenador em 30 dias sem chuva

Tabela 57 Material retido nas grades e no desarenador em 18 jan. 2006

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	7	6	0	0	—	—	4	4	0	0	11	10
Têxtil	29	27	17	15	—	—	25	23	2	2	73	67
Plástico	9	3,5	6	3	—	—	5	2	1	0,5	21	9
Areia	9	10	0	0	860	930	0	0	0	0	9	10
Total	54	46,5	23	18	860	930	34	29	3	2,5	114	96

Tabela 58 Material retido nas grades e no desarenador em 24 jan. 2006

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	6	6	0	0	—	—	5	6	0	0	11	12
Têxtil	13	11	6	4,5	—	—	8	6	2	1,5	29	23
Plástico	6	2,5	4	3	—	—	5	2,5	0	0	15	8
Areia	5	6	0	0	810	950	2	2	0	0	7	8
Total	30	25,5	10	7,5	810	950	20	16,5	2	1,5	62	51

Tabela 59 Material retido nas grades e no desarenador em 11 fev. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	2	2	0	0	—	—	6	4	0	0	8	6
Têxtil	34	28,5	6	7	—	—	18	14,5	14	9,5	72	59,5
Plástico	8	2,5	4	1,5	—	—	6	1,5	4	1,0	22	6,5
Areia	1,5	1,5	0	0	810	940	0	0	0	0	1,5	1,5
Total	45,5	34,5	10	8,5	810	940	30	20	18	10,5	103,5	73,5

Tabela 60 Material retido nas grades e no desarenador em 21 fev. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V (L)	P (kg)
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	4	5	0	0	—	—	3	2,5	0	0	7	7,5
Têxtil	30	31	14	14	—	—	22	23	2	1,5	68	69,5
Plástico	6	2	5	1,5	—	—	4	1,5	0	0	15	5
Areia	12	13,5	0	0	1.130	1.265	0	0	0	0	12	13,5
Total	52	51,5	19	15,5	1.130	1.265	29	27	2	1,5	102	95,5

Tabela 61 Material retido nas grades e no desarenador em 22 fev. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V (L)	P (kg)
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	2	1,5	0	0	—	—	1	1	0	0	3	2,5
Têxtil	14	14	3	2,5	—	—	22	19,5	1,5	1	40,5	37
Plástico	2	0,5	1	0,5	—	—	3,5	1,5	1	0,5	7,5	3
Areia	2,5	2	0	0	1.250	1.310	0	0	0	0	2,5	2
Total	20,5	18	4	3	1.250	1.310	26,5	22	2,5	1,5	53,5	44,5

Tabela 62 Material retido nas grades e no desarenador em 15 mar. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V (L)	P (kg)
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	4	4	0	0	—	—	3	2,5	0	0	7	6,5
Têxtil	28	26	15	14,5	—	—	23	20	3	3	69	63,5
Plástico	10	4	6	2,5	—	—	5	2	0	0	21	8,5
Areia	11	13,5	0	0	940	1.050	0	0	0	0	11	13,5
Total	53	47,5	21	17	940	1.050	31	24,5	3	3	108	92

Tabela 63 Material retido nas grades e no desarenador em 23 mar. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	4	4,5	0	0	—	—	4	4	0	0	8	8,5
Têxtil	15	14	0	0	—	—	18	18	4	4	37	36
Plástico	3	1	0	0	—	—	5	5	2	1	10	7
Areia	12	12,5	0	0	990	910	0	0	0	0	12	12,5
Total	34	32	0	0	990	910	27	27	6	5	67	64

Tabela 64 Material retido nas grades e no desarenador em 6 abr. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	2	1,0	0	0	—	—	4	4,5	0	0	6	5,5
Têxtil	11	12,5	1	1	—	—	14	14	3	3	29	30,5
Plástico	6	2	0	0	—	—	5	2,5	0	0	11	4,5
Areia	6,5	8	0	0	880	1.125	0	0	0	0	6,5	8
Total	25,5	23,5	1	1	880	1.125	23	21	3	3	52,5	58,5

Tabela 65 Material retido nas grades e no desarenador em 7 abr. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	4	3,5	0	0	—	—	6	4,5	0	0	10	8
Têxtil	15	15	1	1	—	—	16	16	3	3	34	35
Plástico	6	2,5	0	0	—	—	6	2,5	0	0	12	5
Areia	4	5	0	0	830	1.028	0	0	0	0	4	5
Total	29	26	1	1	830	1.028	28	23	3	3	61	53

Tabela 66 Material retido nas grades e no desarenador em 26 abr. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	6	5,5	0	0	—	—	4	4,5	0	0	10	10
Têxtil	35	32	20	18	—	—	26	23	3	2	84	75
Plástico	8	2,5	15	6	—	—	9	3	0	0	32	11,5
Areia	2	2,5	0	0	920	1.010	1	1	0	0	3	3,5
Total	51	42,5	35	24	920	1.010	40	31,5	3	3	129	99

Tabela 67 Material retido nas grades e no desarenador em 10 maio 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	7	6,5	0	0	—	—	11,5	8,5	0	0	18,5	15
Têxtil	15	17,5	2	2,5	—	—	16	17,5	3	2	36	39,5
Plástico	10	3	0	0	—	—	5	1,5	0	0	15	4,5
Areia	2	2,5	0	0	650	675	1	1	0	0	3	3,5
Total	34	29,5	2	2,5	650	675	33,5	28,5	3	2	72,5	62,5

Tabela 68 Material retido nas grades e no desarenador em 12 maio 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	2,5	2	0	0	—	—	4	3,5	0	0	6,5	5,5
Têxtil	28	29	1	1	—	—	16	18,5	1,5	1	46,5	49,5
Plástico	5	2	0	0	—	—	3	0,5	0	0	8	2,5
Areia	18	27,5	0	0	700	868	8	12	0	0	26	29,5
Total	53,5	60,5	1	1	700	868	31	34,5	1,5	1	87	87

Tabela 69 Material retido nas grades e no desarenador em 18 maio 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V (L)	P (kg)
	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)		
M. org.	3	2,5	0	0	—	—	5	4,5	0	0	8	7
Têxtil	13	10	0	0	—	—	16	15,5	2	2	31	27,5
Plástico	4	3	0	0	—	—	4	2	0	0	8	5
Areia	2,5	3,5	0	0	1.160	1.318	2,5	3,5	0	0	5	7
Total	22,5	19	0	0	1.160	1.318	27,5	25,5	2	2	52	46,5

Tabela 70 Material retido nas grades e no desarenador em 14 jun. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V (L)	P (kg)
	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)		
M. org.	12	12	0	0	—	—	6	5,5	0	0	18	17,5
Têxtil	40	36	2	2,5	—	—	15	14	2	2,5	59	55
Plástico	12	5	0	0	—	—	6	2,5	0	0	18	7,5
Areia	12	14	0	0	NM	NM	2	2,5	0	0	14	16,5
Total	76	67	2	2			29	24,5	2	2,5	109	96,5

NM – não mediu.

Tabela 71 Material retido nas grades e no desarenador em 15 jun. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V (L)	P (kg)
	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)	V (L)	P (kg)		
M. org.	4	3,5	0	0	—	—	4	3,5	0	0	8	7
Têxtil	22	17	2	2	—	—	22	21	1	1	47	41
Plástico	7	2,5	0	0	—	—	3	1,5	0	0	10	4
Areia	17	14,5	0	0	980	1.010	4	4,5	0	0	21	19
Total	50	37,5	2	2	980	1.010	33	30,5	1	1	86	71

Tabela 72 Material retido nas grades e no desarenador em 17 jun. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	10	7,5	0	0	—	—	7,5	7,5	0	0	17,5	15
Têxtil	40	28,5	14	10	—	—	24	21,5	12	8	90	68
Plástico	8	3	2	1	—	—	10	3	1	1	21	8
Areia	8	6,5	0	0	850	905	0	0	0	0	8	6,5
Total	66	45,5	16	11	850	905	41,5	32	13	9	136,5	97,5

Tabela 73 Material retido nas grades e no desarenador em 6 jul. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	22	21,5	0	0	—	—	11	10	0	0	33	31,5
Têxtil	36	29	13	11	—	—	21	21,5	2	1,5	72	63
Plástico	29	11,5	3	1	—	—	3	1	0	0	35	13,5
Areia	2,5	2	0	0	900	780	1	1	0	0	3,5	3
Total	89,5	64	16	12	900	780	36	33,5	2	1,5	143,5	111

Tabela 74 Material retido nas grades e no desarenador em 20 jul. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	4	3	0	0	—	—	3	1,5	0	0	7	4,5
Têxtil	30	29,5	46	37,5	—	—	22	23	2	1,5	100	91,5
Plástico	6	2,5	13	4,5	—	—	6	1,5	1	0,5	26	9
Areia	12	11	0	0	1.150	1.256	0	0	0	0	12	11
Total	52	46	59	42	1.150	1.256	31	26	3	2	145	115

Tabela 75 Material retido nas grades e no desarenador em 3 ago. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	13	13,5	0	0	—	—	9	8	0	0	22	21,5
Têxtil	29	29	21	20	—	—	20	19	8	7,5	78	75,5
Plástico	9	3,5	4	1	—	—	9	3,5	0	0	22	8
Areia	7	8	0	0	590	660	1	1	0	0	8	9
Total	58	54	25	21	590	660	39	31,5	8	7,5	130	114

Tabela 76 Material retido nas grades e no desarenador em 5 ago. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	12	11,5	0	0	—	—	7	6,5	0	0	19	18
Têxtil	24	25	15	15	—	—	18	16	5	4	62	60
Plástico	9	3,5	5	1,5	—	—	10	3,5	1	0,5	25	9
Areia	8	9	0	0	770	780	0	0	0	0	8	9
Total	53	49	20	16,5	770	780	35	26	6	4,5	114	96

Tabela 77 Material retido nas grades e no desarenador em 11 ago. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	18	18	0	0	—	—	11	10,5	0	0	29	28,5
Têxtil	31	27	23	21	—	—	21	19	5	3,5	80	70,5
Plástico	11	3,5	4	1	—	—	11	3	1	0,5	27	8
Areia	7	8,5	0	0	740	810	1	1	0	0	8	9,5
Total	67	57	27	22	740	810	44	33,5	6	4	144	116,5

Tabela 78 Material retido nas grades e no desarenador em 14 set. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	8	7,5	0	0	—	—	8	6,5	0	0	16	14
Têxtil	22	17,5	6	3,5	—	—	18	17,5	7	4,5	53	43
Plástico	7	2,5	1	0,5	—	—	8	3	1	0,5	17	6,5
Areia	10	9,5	0	0	680	630	0	0	0	0	10	9,5
Total	47	37	7	4	680	630	34	27	8	5	96	73

Tabela 79 Material retido nas grades e no desarenador em 16 set. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	5	4	0	0	—	—	7	6	0	0	12	10
Têxtil	35	31	5	4	—	—	27	23	4	3,5	71	61,5
Plástico	5	2	2	1	—	—	6	2,5	1	0,5	14	6
Areia	11	12	0	0	690	780	1	1	0	0	12	13
Total	56	49	7	5	690	780	41	32,5	5	4	109	90,5

Tabela 80 Material retido nas grades e no desarenador em 20 set. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	6	6	0	0	—	—	9	8	0	0	15	14
Têxtil	37	34	6	5	—	—	22	19	6	5	71	63
Plástico	8	3	2	1	—	—	4	1,5	0	0	14	5,5
Areia	10	12	0	0	710	650	2	2,5	0	0	12	14,5
Total	61	55	8	6	710	650	37	31	6	5	112	97

Tabela 81 Material retido nas grades e no desarenador em 4 out. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	11	11	0	0	—	—	11	11,5	0	0	22	22,5
Têxtil	25	24	16	15	—	—	19	18	7	6,5	67	63,5
Plástico	11	4	1,5	1	—	—	5	2	1	0,5	18,5	7,5
Areia	12	13	0	0	630	750	1	1	0	0	13	14
Total	59	52	17,5	16	630	750	36	33	8	7	120,5	107,5

Tabela 82 Material retido nas grades e no desarenador em 19 out. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	9	9,5	0	0	—	—	11	11,5	0	0	20	21
Têxtil	31	29	17	13	—	—	19	18	6	5	73	65
Plástico	8	3	4	1,5	—	—	5	2	0	0	17	6,5
Areia	9	10	0	0	630	750	1	1	0	0	10	10
Total	57	51,5	21	14,5	630	750	36	32,5	6	5	120	103,5

Tabela 83 Material retido nas grades e no desarenador em 10 nov. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	5	5,5	0	0	—	—	4	4	0	0	9	9,5
Têxtil	10	8	4	3,5	—	—	12	10	2	1,5	28	23
Plástico	5	2	2	1	—	—	3	1	0	0	10	4
Areia	3	3,5	0	0	740	860	0	0	0	0	3	3,5
Total	23	19	6	4,5	740	860	19	15	2	1,5	50	40

Tabela 84 Material retido nas grades e no desarenador em 23 nov. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	4	3,5	0	0	—	—	14	12,5	0	0	18	16
Têxtil	40	35,5	22	16,5	—	—	42	37,5	14	12	118	101,5
Plástico	6	2,5	6	2	—	—	8	1,5	8	2	28	8
Areia	2	2,5	0	0	980	1.105	0	0	0	0	2	2,5
Total	52	44	28	18,5	980	1.105	64	5,5	22	14	166	128

Tabela 85 Material retido nas grades e no desarenador em 1º dez. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	5	5,5	3	3	—	—	3	2,5	0	0	11	11
Têxtil	18	16	13	12	—	—	20	18	3	2	54	58
Plástico	8	3,5	4	1,5	—	—	5	2	1	0,5	18	7,5
Areia	9	10,5	0	0	920	1.090	0	0	0	0	9	10,5
Total	40	35,5	20	16,5	920	1.090	28	22,5	4	2,5	92	87

Tabela 86 Material retido nas grades e no desarenador em 15 dez. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	5	5,5	0	0	—	—	3	3,5	0	0	8	9
Têxtil	31	29	15	15	—	—	23	21	2	1,5	71	66,5
Plástico	7	3,5	6	2,5	—	—	4	2	1	0,5	18	8,5
Areia	12	13	0	0	890	990	0	0	0	0	12	13
Total	55	51	21	17,5	890	990	30	26,5	3	2	109	97

APÊNDICE E. Material retido nas grades e no desarenador em 6 dias com chuva

Tabela 87 Material retido nas grades e no desarenador em 4 jan. 2006

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	16	14,5	0	0	0	—	8	6,5	0	0	24	21
Têxtil	20	20,5	10	9,5	0	—	10	9,5	4	3	44	42,5
Plástico	12	6	6	2,5	0	—	6	2	3	1	27	11,5
Areia	8	8,5	0	0	1.130	1.310	0	0	0	0	8	8,5
Total	56	49,5	16	12	1.130	1.310	24	19	7	4	103	83,5

Tabela 88 Material retido nas grades e no desarenador em 31 mar. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	17	11,5	0	0	—	—	6	4,5	0	0	23	15
Têxtil	44	38	3	2,5	—	—	11	12,5	1	1	59	54
Plástico	44	19	0	0	—	—	6	2,5	0	0	50	21,5
Areia	2	3	0	0	1.098	1.254	0	0	0	0	2	3
Total	107	71,5	3	2,5	1.098	1.254	23	19,5	1	1	134	93,5

Tabela 89 Material retido nas grades e no desarenador em 5 abr. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	14	15	0	0	—	—	8	9	0	0	22	24
Têxtil	25	22	10	8,5	—	—	14	13	3	2	52	45,5
Plástico	9	3,5	2	0,5	—	—	6	2,5	0	0	17	6,5
Areia	7	8,5	0	0	830	970	1	1	0	0	8	9,5
Total	55	49	12	9	830	970	29	25,5	3	2	99	85,5

Tabela 90 Material retido nas grades e no desarenador em 5 nov. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	21	22	0	0	—	—	7	5,5	0	0	28	27,5
Têxtil	32	35	16	14	—	—	14	13	3	2	65	64
Plástico	13	4	5	1,5	—	—	4	1	0	0	22	6,5
Areia	9	10	0	0	870	960	1	1	0	0	10	11
Total	75	71	21	15,5	870	960	26	20,5	3	2	125	109

Tabela 91 Material retido nas grades e no desarenador em 10 nov. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	18	17	0	0	—	—	7	7	0	0	25	24
Têxtil	29	27	9	9	—	—	15	13,5	2	1,5	55	51
Plástico	10	4	3	1	—	—	6	2,5	0	0	19	7,5
Areia	8	9,5	0	0	920	1040	1	1	0	0	9	10,5
Total	65	57,5	12	10	920	1040	29	24	2	1,5	108	93

Tabela 92 Material retido nas grades e no desarenador em 14 dez. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	14	12	0	0	—	—	10	11	0	0	24	23
Têxtil	27	25	18	18	—	—	16	14	1	1	62	58
Plástico	13	4	6	2,5	—	—	6	2,5	0	0	25	9
Areia	10	12	5	5	890	980	0	0	0	0	15	17
Total	64	53	29	25,5	890	980	32	27,5	1	1	126	107

APÊNDICE F. Material retido nas grades e no desarenador em 6 dias com intensas precipitações

Tabela 93 Material retido nas grades e no desarenador em 11 jan. 2006

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	28	28,5	0	0	—	—	7	6,5	0	0	35	35
Têxtil	37	37	22	22	—	—	10	10	6	5,5	75	74,5
Plástico	18	11,5	16	9	—	—	6	2	5	1,5	45	24
Areia	12	12	0	0	1.290	1.716	4	3,5	0	0	16	15,5
Total	95	89	38	31	1.290	1.716	27	22	11	7	171	149

Tabela 94 Material retido nas grades e no desarenador em 31 jan. 2006

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	34	33,5	0	0	—	—	8	7,5	0	0	42	41
Têxtil	38	37,5	20	20	—	—	10	9,5	6	5,5	74	72,5
Plástico	18	11,5	14	14	—	—	6	2	5	1,5	43	29
Areia	8	8,5	0	0	1.080	1.430	4	3,5	0	0	12	12
Total	98	91	34	34	1.080	1.430	28	22,5	11	7	171	154,5

Tabela 95 Material retido nas grades e no desarenador em 3 mar. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	
M. org.	18	16	0	0	—	—	4	3,5	0	0	22	19,5
Têxtil	59	56	10	7,5	—	—	10	9	6	5	85	77,5
Plástico	40	16	4	1,5	—	—	6	2,5	3	1	53	21
Areia	42	44	0	0	810	928	0	0	0	0	42	44
Total	18	16	0	0	810	928	4	3,5	0	0	22	19,5

Tabela 96 Material retido nas grades e no desarenador em 10 mar. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	34	24,5	0	0	—	—	4	3	0	0	38	27,5
Têxtil	82	67	8	8,5	—	—	18	14,5	4	3	112	93
Plástico	26	10	1	0,5	—	—	4	2	0	0	31	12,5
Areia	26	28	0	0	980	1.070	4	6	0	0	30	34
Total	168	129,5	9	9	980	1.070	30	23,5	4	3	211	167

Tabela 97 Material retido nas grades e no desarenador em 14 out. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	150	116	0	0	—	—	7	6,5	0	0	157	122,5
Têxtil	90	86	47	35	—	—	8	9,5	0	0	145	130,5
Plástico	46	13,5	3	1	—	—	4	1,5	0	0	53	16
Areia	18	20	0	0	1.600	1.936	12	12,5	0	0	30	32,5
Total	304	235,5	50	36	1.600	1.936	31	30	0	0	385	301,5

Tabela 98 Material retido nas grades e no desarenador em 6 dez. 2005

MATERIAL	MANHÃ						TARDE				TOTAL GRADE	
	Grade fina		Grade grossa		Desaren.		Grade fina		Grade grossa		V	P
	V	P	V	P	V	P	V	P	V	P		
	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)
M. org.	38	37	0	0	—	—	26	24	0	0	64	61
Têxtil	26	24	26	25	—	—	42	36	18	16,5	112	101,5
Plástico	16	8	10	5	—	—	24	11,5	12	6	62	30,5
Areia	32	34,5	0	0	1.400	1.960	14	14	0	0	46	48,5
Total	112	103,5	36	30	1.400	1.960	106	85,5	30	22,5	284	241,5

APÊNDICE G. Resultados das medições de lodo nas lagoas

Tabela 99 Altura do lodo na lagoa anaeróbia 1

Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)
1a	1,20	2a	1,60	3a	1,0	4a	1,90	5a	1,3	6a	2,10	7a	1,80	8a	1,1	9a	1,20	10a	1,80	11a	1,00	12a	0,70	13 ^a	0,85
1b	1,25	2b	1,00	3b	1,1	4b	1,30	5b	1,7	6b	1,40	7b	1,40	8b	1,20	9b	1,70	10b	1,60	11b	0,95	12b	0,85	13b	0,80
1c	1,30	2c	1,20	3c	1,4	4c	1,60	5c	1,5	6c	1,00	7c	1,30	8c	1,40	9c	2,10	10c	1,80	11c	1,20	12c	0,95	13c	0,90
1d	1,5	2d	1,40	3d	2,0	4d	1,80	5d	1,00	6d	1,60	7d	1,20	8d	1,00	9d	2,30	10d	1,50	11d	1,20	12d	0,90	13d	0,85
1e	1,2	2e	1,40	3e	2,2	4e	1,70	5e	0,70	6e	1,40	7e	0,70	8e	2,40	9e	2,10	10e	1,20	11e	1,35	12e	1,00	13e	1,00
1f	1,3	2f	1,50	3f	2,2	4f	1,70	5f	1,80	6f	1,70	7f	2,40	8f	2,80	9f	2,20	10f	0,80	11f	1,40	12f	1,15	13f	0,95
1g	1,0	2g	1,70	3g	2,3	4g	1,70	5g	2,20	6g	1,70	7g	2,00	8g	2,90	9g	2,30	10g	1,00	11g	1,40	12g	1,10	13g	0,80
1h	1,3	2h	2,0	3h	2,4	4h	2,80	5h	2,20	6h	1,60	7h	1,70	8h	2,80	9h	2,20	10h	1,20	11h	1,70	12h	1,10	13h	0,90

Altura média do lodo na lagoa anaeróbia 1 = 1,50 m.

Tabela 100 Altura do lodo na lagoa anaeróbia 2

Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)
1a	0,9	2a	1,50	3a	0,90	4a	1,10	5a	1,10	6a	1,15	7a	1,50	8a	1,60	9a	1,00	10a	0,80	11a	1,00	12a	1,10	13a	0,70
1b	1,0	2b	0,95	3b	0,80	4b	1,50	5b	1,20	6b	1,30	7b	1,70	8b	1,70	9b	1,20	10b	0,80	11b	0,70	12b	0,80	13b	0,70
1c	1,0	2c	1,0	3c	0,90	4c	1,40	5c	1,20	6c	1,30	7c	2,00	8c	2,20	9c	1,80	10c	0,90	11c	0,80	12c	0,40	13c	0,60
1d	0,9	2d	0,90	3d	1,20	4d	1,40	5d	1,30	6d	1,50	7d	1,90	8d	2,00	9d	1,70	10d	0,60	11d	0,80	12d	0,50	13d	0,70
1e	0,8	2e	1,10	3e	1,30	4e	1,30	5e	1,20	6e	1,20	7e	1,80	8e	0,90	9e	1,80	10e	0,70	11e	0,80	12e	0,50	13e	0,60
1f	0,9	2f	1,0	3f	1,20	4f	1,20	5f	1,10	6f	1,10	7f	1,80	8f	0,80	9f	1,70	10f	0,80	11f	0,70	12f	0,50	13f	0,50
1g	1,20	2g	1,30	3g	1,30	4g	1,20	5g	0,95	6g	0,90	7g	1,50	8g	2,10	9g	1,80	10g	0,80	11g	0,80	12g	0,50	13g	0,70
1h	0,90	2h	0,90	3h	1,20	4h	1,40	5h	0,90	6h	0,90	7h	1,40	8h	1,40	9h	0,70	10h	0,50	11h	0,90	12h	0,90	13h	0,60

Altura média do lodo na lagoa anaeróbia 2 = 1,10 m.

Tabela 101 Altura do lodo na lagoa anaeróbia 3

Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)
1a	1,80	2a	1,40	3a	1,10	4a	1,20	5a	1,20	6a	1,50	7a	1,60	8a	1,60	9a	1,70	10a	1,20	11a	1,10	12a	1,20	13a	1,00
1b	1,30	2b	1,00	3b	1,25	4b	1,30	5b	1,80	6b	2,10	7b	2,00	8b	1,80	9b	1,50	10b	1,10	11b	1,10	12b	1,10	13b	0,90
1c	1,20	2c	1,10	3c	1,30	4c	1,70	5c	2,10	6c	1,90	7c	2,10	8c	1,80	9c	1,80	10c	1,20	11c	1,30	12c	1,10	13c	0,90
1d	1,00	2d	1,20	3d	1,50	4d	1,95	5d	1,80	6d	1,40	7d	1,70	8d	1,90	9d	1,90	10d	1,70	11d	1,40	12d	1,15	13d	0,95
1e	1,20	2e	1,30	3e	1,70	4e	2,20	5e	1,70	6e	1,40	7e	1,90	8e	1,90	9e	2,00	10e	2,00	11e	1,60	12e	1,20	13e	0,90
1f	1,10	2f	1,20	3f	1,80	4f	2,30	5f	2,20	6f	2,00	7f	2,20	8f	2,10	9f	2,20	10f	2,10	11f	1,50	12f	1,20	13f	1,00
1g	1,20	2g	1,30	3g	1,80	4g	2,40	5g	2,50	6g	2,60	7g	2,50	8g	2,40	9g	2,30	10g	2,10	11g	1,40	12g	1,10	13g	1,00
1h	1,30	2h	1,60	3h	1,80	4h	2,30	5h	2,0	6h	2,60	7h	2,60	8h	2,40	9h	2,40	10h	1,80	11h	1,50	12h	0,95	13h	1,10

Altura média do lodo na lagoa anaeróbia 3 = 1,61 m.

Tabela 102 Altura do lodo na lagoa anaeróbia 4

Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)	Pto	H (m)
1a	1,10	2a	1,60	3a	1,60	4a	1,90	5a	1,90	6a	1,70	7a	1,70	8a	1,90	9a	1,30	10a	0,80	11a	0,50	12a	0,60	13a	0,80
1b	1,00	2b	1,50	3b	1,70	4b	2,10	5b	2,20	6b	1,80	7b	1,60	8b	1,50	9b	1,10	10b	0,85	11b	0,65	12b	0,65	13b	0,80
1c	1,00	2c	1,50	3c	2,10	4c	2,00	5c	2,00	6c	1,80	7c	1,70	8c	1,50	9c	1,10	10c	0,80	11c	0,60	12c	0,40	13c	1,00
1d	0,90	2d	1,70	3d	2,20	4d	1,55	5d	1,45	6d	1,90	7d	1,90	8d	1,90	9d	1,00	10d	0,75	11d	0,60	12d	0,65	13d	0,70
1e	0,80	2e	1,60	3e	2,00	4e	1,75	5e	1,60	6e	1,80	7e	1,80	8e	1,80	9e	1,05	10e	0,55	11e	0,60	12e	0,40	13e	0,80
1f	0,80	2f	1,60	3f	1,70	4f	2,00	5f	1,80	6f	1,60	7f	1,60	8f	1,60	9f	0,90	10f	0,60	11f	0,60	12f	0,50	13f	0,60
1g	0,80	2g	1,00	3g	1,20	4g	1,50	5g	1,60	6g	1,60	7g	1,50	8g	1,50	9g	0,80	10g	0,60	11g	0,55	12g	0,40	13g	0,65
1h	0,90	2h	1,20	3h	1,20	4h	1,60	5h	1,70	6h	1,45	7h	1,40	8h	1,40	9h	0,80	10h	0,60	11h	0,50	12h	0,60	13h	0,60

Altura média do lodo na lagoa anaeróbia 4 = 1,23 m.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)