



**Universidade Federal do Pará  
Centro Tecnológico  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

**Débora Suely Anjos da Cunha**

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO E DA CAPACIDADE  
DE DISPOSIÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DO AURÁ NA REGIÃO  
METROPOLITANA DE BELÉM PARA OS PRÓXIMOS 20 ANOS.**

Belém

2009

**Débora Suely Anjos da Cunha**

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO E DA CAPACIDADE  
DE DISPOSIÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DO AURÁ NA REGIÃO  
METROPOLITANA DE BELÉM PARA OS PRÓXIMOS 20 ANOS.**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Federal do Pará, para obtenção de  
título de Mestre em Engenharia Civil, área de  
concentração Recursos Hídricos e Saneamento  
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

Belém

2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

Cunha, Débora Suely Anjos da, 1976-

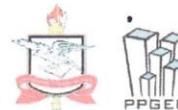
Análise da produção de lodo de esgoto e da capacidade de disposição do aterro sanitário do Aurá na Região Metropolitana de Belém para os próximos 20 anos / Débora Suely Anjos da Cunha. - 2009.

Orientador: José Almir Rodrigues Pereira.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2009.

1. Lodo residual. 2. Águas residuais-Purificação-Tratamento biológico. 3. Aterro sanitário. I. Título.

CDD 22. ed. 628.364

---



**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO E DA  
CAPACIDADE DE DISPOSIÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DO AURÁ  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM PARA OS PRÓXIMOS 20  
ANOS.**

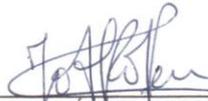
AUTORA:

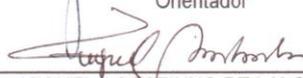
**DÉBORA SUELY ANJOS DA CUNHA**

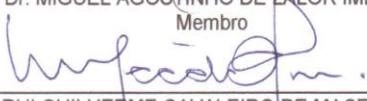
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A BANCA EXAMINADORA  
APROVADA PELO COLEGIADO DO CURSO DE  
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO  
DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ,  
COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADA EM: 01/10/2009.

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOSÉ ALMIR RODRIGUES PEREIRA  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. MIGUEL AGOSTINHO DE LATOR IMBIRIBA  
Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. RUI GUILHERME CAVALEIRO DE MACEDO ALVES  
Membro

Visto:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. ALCEBIADES NEGRÃO MACÉDO  
Coordenador do PPGEC / IT / UFPA

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Pedro Olimpio Paes da Cunha e Maria de Nazaré Anjos da Cunha que representam em minha vida, exemplo de superação, dedicação, amor ao próximo e por sempre estarem ao meu lado nos momentos decisivos de minha vida. Aos meus irmãos Edgar e Pedro Cunha agradeço a compreensão e ajuda. E a minha sobrinha Ingrid Juliana por ter trazido muita felicidade para nossa família.

Belém

2009

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me abençoar e guiar meus caminhos todos os dias e acima de tudo agradecer a oportunidade de ter feito mestrado que era um sonho.

Aos meus pais pelo incentivo, dedicação, compreensão e acima de tudo amor incondicional.

Aos meus amigos pelo incentivo, compreensão, colaboração nos momentos de dificuldade e momentos de descontração.

Ao professor e orientador José Almir Rodrigues Pereira pela confiança depositada, orientação e sugestões em todas as fases da execução deste trabalho.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS), Daniel Mescoito, Aline, Silvana, David, Karina, Rafael, Larissa, Monique Dias, em especial, a Ana Júlia Soares Barbosa pelo incentivo, amizade e contribuição decisiva na elaboração deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPA, pela contribuição ao longo do curso.

Prof<sup>a</sup> M. Sc. Marise Teles Condurú, do Núcleo de Meio Ambiente da UFPA pela valiosa contribuição.

A COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará e a SESAN – Secretaria Municipal de Saneamento em especial ao engenheiro Marcio Egyto pelo apoio e informações disponibilizadas.

A FAPESPA – Fundação de Amparo a Pesquisa pela bolsa de pesquisa.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente dispuseram suas valiosas colaborações para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
3.1 LODO DE ESGOTO.....	10
<b>3.1.1 Matéria orgânica.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. 2 Nutrientes.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. 3 Metais pesados.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. 4 Microrganismos.....</b>	<b>16</b>
3.2 PRODUÇÃO DE LODO.....	18
3.3 DESAGUAMENTO E REMOÇÃO DE UMIDADE.....	41
<b>3.3.1 Condicionamento do lodo de esgoto .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.2 Desaguamento do lodo de esgoto .....</b>	<b>42</b>
3. 4 TRANSPORTE DO LODO DE ESGOTO .....	48
3.5 DESTINO FINAL .....	51
<b>3.5.1 Aterro sanitário como destino final de lodo de esgoto.....</b>	<b>52</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>68</b>
4.1 FASES DA PESQUISA .....	70
<b>4.1.1 Fase 1: Estimar o volume de lodo de esgoto de tanques sépticos e de ETEs na RMB no período de 2009 a 2030.....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.2 Fase 2: Analisar a capacidade do Aterro Sanitário do Aurá como local de disposição do lodo período de 2010 a 2030.....</b>	<b>78</b>

<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
5.1 ESTIMATIVA DO VOLUME DE LODO DE ESGOTO EM TANQUES SÉPTICO E EM ETES NA RMB (2009 A 2030).....	79
5.2 ANÁLISE DA CAPACIDADE DO ATERRO SANITÁRIO DO AURÁ COMO LOCAL DE DISPOSIÇÃO DO LODO (2010 A 2030).....	120
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>124</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>125</b>

## RESUMO

A Região Metropolitana de Belém possui poucas e incompletas informações sobre a produção e destino final de lodo de esgoto, pois apenas pequena parte do lodo gerado nos tanques sépticos e nas ETEs coletivas é desaguado e disposto sem controle no Aterro Sanitário do Aurá, portanto, é muito comum o lançamento indevido de lodo em corpos d'água e no solo, o que agrava os problemas de poluição/contaminação na área urbana. Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo analisar o aumento da produção de lodo e avaliar o seu impacto no Aterro Sanitário do Aurá. A pesquisa foi desenvolvida na Região Metropolitana de Belém, que é composta pelos municípios de Belém, Ananindeua, Benevides, Marituba e Santa Bárbara do Pará. Tendo sido dividida em duas fases. Na Fase I foram estimados os volumes de lodo de esgoto (bruto e desaguado) de tanques sépticos e de ETEs na RMB no período de 2009 a 2030, sendo a Fase II destinada à análise da capacidade do aterro sanitário do Aurá como local de disposição deste lodo. Durante a mesma foi constatado que apesar do aumento do volume de lodo desaguado não ter grande impacto no volume de resíduos sólidos domiciliares no período estudado, a falta de áreas disponíveis no Aterro Sanitário do Aurá é um problema que deve ser resolvido com a máxima brevidade, pois, caso contrário, os resíduos sólidos domiciliares e o lodo de esgoto gerados na Região Metropolitana de Belém, não serão dispostos adequadamente, já que a previsão é o rápido comprometimento do volume livre do Aterro Sanitário do Aurá.

**PALAVRAS-CHAVE:** lodo de esgoto, produção, tratamento, tanque séptico, estação de tratamento de esgoto, aterro sanitário.

## ABSTRACT

Belém Metropolitan Region has few and incomplete informations about production and destination of sewage sludge, because just little part of the sludge generated in septic tank and collective Sewage Works is thrown away without control in Aurá Sanitary Landfill. Because of this, is usual to throw the sludge in water bodies and in the ground, worsen the problems of pollution/contamination in the urban areas. Therefore, this work has the objective of analyzing the increase of production of sludge and evaluate the impact in the Aurá Sanitary Landfill. The search was developed in Belém Metropolitan Region, composed by Belém, Ananindeua, Benevides, Marituba and Santa Bárbara do Pará. It was divided in 2 stages. In the first stage it was estimated the production of the sludge (brute and drained) of septic tanks and in the collective Sewage Works during 2009 to 2030, and the second one was the availability of an area to disposal in the Aurá Sanitary Landfill. In the period studied, it was verified that by the way of the increase of the content of sludge drainage doesn't has too many impact in the content of the residence solid waste, the deficiency of the available areas in the Aurá Sanitary Landfill is a problem that has to be solved as soon as possible, otherwise residence solid waste and sewage sludge produced in Belém Metropolitan Region won't be well disposal, as a matter of fact that the prevision is the fast implicate of the free content of Aurá Sanitary Landfill.

**KEYWORDS:** sewage sludge, production, treatment, septic tank, sewage works, sanitary landfill.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Tanque séptico. ....	19
Figura 2 – Configurações dos leitos de secagem segundo a NBR 12209 (1992). ....	43
Figura 3 – Corte da seção de um aterro sanitário. ....	56
Figura 5 – Detalhe de dreno de captação de gases no aterro sanitário. ....	59
Figura 6 – Método de Trincheira. ....	60
Figura 7 – Método de Rampa. ....	61
Figura 8 – Método de Área. ....	61
Figura 9 – Aterro em Lagoas. ....	62
Figura 10 – Aterro em Depressões ou Ondulações. ....	62

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Vista aérea da ETE Franca.....	21
Fotografia 2 – Caminhão basculante com lodo.....	49
Fotografia 3 – Vista aérea do Aterro Sanitário de Uberlândia (2006). ....	53

## LISTA DE TABELAS

_Tabela 1 - Percentual de matéria orgânica no lodo encontrado em algumas ETEs na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.....	12
_Tabela 2 – Nutrientes encontrados em ETEs do Paraná e do Rio de Janeiro.....	13
_Tabela 3 - Concentração de metais pesados em Biossólidos produzido em algumas ETEs brasileiras.....	15
_Tabela 4 – Estimativa teórica de produção de lodos em sistemas de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de Curitiba.....	24
_Tabela 5 – Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgoto, expressos em valores per capita.	Continua
.....	25
_Tabela 6 – Parâmetros utilizados no cálculo do volume de um tanque séptico.....	28
_Tabela 7 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto de Reatores UASB. ....	30
_Tabela 8 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto para Reatores UASB seguidos lodos ativados.	Continua
.....	33
_Tabela 9 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto em sistemas de reator UASB seguindo de flotação por ar dissolvido.....	36
_Tabela 10 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto de lagoas aeradas facultativas. ....	37
_Tabela 11 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo primário em tratamentos de lodos ativados convencional. ....	38
_Tabela 12 – Valores adotados para o cálculo da produção de lodo secundário em tratamentos de lodos ativados convencional. ....	39
_Tabela 13 – Parâmetros utilizados para o cálculo do volume de lodo desaguado.	47
_Tabela 14 – Custo estimado com destina final do lodo de esgoto.....	64
_Tabela 15 – Expressões e parâmetros adotados para o cálculo do volume de lodo bruto.	Continua.....
.....	74
_Tabela 16 – Parâmetros adotados para o cálculo do volume de lodo desaguado..	77
_Tabela 17 – População da Região Metropolitana de Belém (RMB).....	79
_Tabela 18 – População atendida por fossa séptica na Região Metropolitana de Belém (RMB). ....	79

_Tabela 19 – Volume de lodo produzido pelas ETEs em 2009. ....	_82
_Tabela 20 – Projeção populacional por bacia de esgotamento para o período de 2009 a 2029. ....	_87
_Tabela 21 – População atendida por estação de tratamento de esgoto e tanque séptico no período de 2009 a 2029. ....	_91
_Tabela 22 – Volume de lodo bruto gerado em tanques sépticos e em estação de tratamento de esgoto no período de 2009 a 2029. ....	_93
_Tabela 23 – Volume de lodo gerado em tanques sépticos e estações de tratamento de esgoto após desaguamento no período de 2009 a 2029. ....	_94
_Tabela 24 – Volume de lodo total gerado na Região Metropolitana de .....	_96
_Tabela 25 – Características das células do Aterro Sanitário do Aurá. ....	_121
_Tabela 26 – Volume total de lodo após desaguamento das ETEs e Tanques sépticos e volume de resíduos sólidos na RMB no período de 2009 a 2029. ....	_122
_Tabela 27 – Volume livre no aterro sanitário do Aurá no período de 2009 a 2029. ....	_123

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Níveis de tratamento de esgoto.....	21
Quadro 2 – Critérios para avaliação das áreas para a instalação de aterro sanitário. .....	54
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens da co-disposição de lixo urbano e lodo em aterros sanitários. ....	64
Quadro 4 – Configuração das estações de tratamento de esgoto e o tipo de lodo gerado nos sistemas de tratamento de RMB.....	81
Quadro 5 – Bacias de esgotamento e estações de tratamento de esgoto .....	88
Quadro 6 – Estações de tratamento de esgoto planejadas pelo PDSES .....	90

## **LISTA DE FLUXOGRAMAS**

Fluxograma 1 – Composição do lodo de esgoto.....	11
Fluxograma 2 – Fases do gerenciamento do lodo.....	41
Fluxograma 3 – Desenvolvimento das fases da pesquisa.....	70

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1–Localização do complexo de destino final de resíduos sólidos do Aurá. ...	69
Mapa 2– Área de abrangência e localização das ETEs do PROSANEAR, PROSEGE e da Pratinha. ....	83
Mapa 3– Área de abrangência e localização das ETEs de Mosqueiro. ....	84
Mapa 4– Área de abrangência e localização das ETEs por Bacia esgotamento....	85

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNEM	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONDER	Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PDES	Plano Diretor de Esgotamento Sanitário
PROSANEAR	Programa de Saneamento para Populações de Baixa Renda
PROSEGE	Programa de Ação Social em Saneamento
RALF	Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado
RMB	Região Metropolitana de Belém
RMGV	Região Metropolitana da Grande Vitória
SAAEB	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEGEP	Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento E Gestão
SESAN	Secretaria Municipal de Saneamento
TS	Tanque Séptico
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UGL	Unidade Geradora de Lodo

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento dos esgotos tem a finalidade de remover poluentes dos efluentes gerados pela população, para que esses sejam lançados em corpos hídricos receptores de acordo com a legislação ambiental vigente. De maneira geral, esse tratamento gera resíduos que são: os sólidos grosseiros, a areia, a espuma, o biogás e o lodo.

O lodo é considerado o principal resíduo sólido produzido, em razão do maior volume e massa produzidos. Além da quantidade gerada, há a preocupação com as características desse lodo.

Tsutiya et al. (2001a) observam que o lodo é um material heterogêneo cuja composição depende do tipo de tratamento empregado para o esgoto e das características das fontes geradoras (população e indústrias) e de seu caráter sazonal.

De acordo com Silva et al. (2007a), o lodo de esgoto apresenta vários componentes orgânicos e minerais que conferem características de fertilizantes. Porém, pode também possuir outros componentes indesejáveis, pelo risco sanitário e ambiental. Esses componentes são os metais pesados, poluentes orgânicos variados e microrganismos patogênicos.

Esse material residual é considerado como resíduo sólido. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), na NBR 10.004, define como resíduos sólidos: os resíduos no estado sólido e semi-sólido, resultantes de atividades doméstica, hospitalar, comercial, industrial, agrícola e de serviços e de varrição. Também estão incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os gerados também em equipamentos e instalações de controle de poluição, além de determinados líquidos cujas suas particularidades tornem inviáveis seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água.

Na maioria dos municípios brasileiros são pouco conhecidas, controladas e fiscalizadas as quantidades e características do lodo produzido em sistemas de tratamento coletivos (Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs) e individuais (especialmente tanques sépticos), o que indica que parte desse material é descartada de forma irregular no meio ambiente.

A falta de planejamento e de locais adequados para a destinação final do lodo de esgoto é problema observado em muitas cidades de pequeno, médio e grande porte, sendo cotidianamente agravado com o crescimento da população, que resulta em expansão das unidades de tratamento de esgoto nas áreas urbanas.

Em muitas cidades o lodo de esgoto é destinado para lixões, terrenos desocupados e até mesmo corpos d'água, o que não representa solução técnica adequada, podendo assim ocasionar poluição / contaminação do meio ambiente.

A destinação de lodo de esgoto para aterros sanitários e aterros controlados é mais indicada, apesar de ocupar espaço nem sempre previsto no projeto e na operação desses pontos de destinação final de resíduos sólidos, demonstrando, portanto, pequena integração na gestão desses dois sistemas de saneamento.

A falta de planejamento municipal repercute em muitos desses projetos de infra-estrutura urbana. No caso dos projetos de esgotamento sanitário, é normalmente proposto o desaguamento do lodo e a incorporação desse material no sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Município, não sendo detalhadas outras alternativas para aproveitamento. Silvério (2004) diz que esse material residual pode ser aproveitado no uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético), recuperação de solos (recuperação de área degradada e de mineração), conversão de óleo combustível e pode ser reusado na indústria na produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento.

Como em muitos municípios brasileiros, a Região Metropolitana de Belém (RMB) possui poucas e incompletas informações sobre a produção e destino final de lodo de esgoto, pois apenas pequena parte do lodo gerado em tanques sépticos e em ETEs coletivas, é desaguada e disposta no Aterro Sanitário do Aurá. Portanto, ainda é muito comum o lançamento indevido de lodo em corpos d'água e no solo, o que agrava os problemas de poluição/contaminação na área urbana.

Além disso, é preciso verificar a capacidade do Aterro Sanitário do Aurá para recebimento da produção (atual e futura) de lodo gerado nos sistemas de tratamento de esgoto, pois este é o único local de disposição de resíduos, entre eles o lodo de esgoto da Região Metropolitana de Belém.

Para a RMB a médio e a longo prazo, a produção de lodo estará condicionada à execução das diretrizes de estudos preliminares de estruturação e de implantação dos sistemas de tratamento de esgoto. De uma forma geral, o referido plano prevê a divisão da RMB em bacias de esgotamento, com ampliação de estações de tratamento de esgoto existentes e implantação de novas ETEs. Esses sistemas serão produtores de lodo, que deverá ser encaminhado para um destino final adequado, que em primeira instância será o aterro sanitário do Aurá.

Dessa forma a presente pesquisa objetivou analisar a produção de lodo a partir dos seguintes fatores: crescimento populacional; sistemas atuais e futuros de tratamento de sistema individual (tanque séptico) e de sistemas coletivos (estações de tratamento de esgotos). Bem como o impacto dessa produção de lodo de esgoto na capacidade (atual e futura) de disposição, após reduzido seu volume com desaguamento natural, no Aterro Sanitário do Aurá.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar o aumento da produção de lodo de esgoto na Região Metropolitana de Belém (RMB) e seu impacto no Aterro Sanitário do Aurá no período de 2009 a 2030.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar a relação do crescimento da população da RMB com o aumento da produção de lodo bruto em estações de tratamento de esgoto (ETEs) coletivas e em tanques sépticos nos próximos 20 anos;
- Determinar o volume de lodo desaguado por meio de leitos de secagem e de resíduos sólidos da RMB nos próximos 20 anos.
- Analisar se o Aterro Sanitário do Aurá terá capacidade para recebimento do lodo de esgoto desaguado e de resíduos sólidos nos próximos 20 anos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os resíduos sólidos podem estar no estado sólido e semi-sólido, é são resultantes de atividades doméstica, hospitalar, comercial, industrial, agrícola e de serviços e de varrição. Ficam ainda incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os gerados também em equipamentos e instalações de controle de poluição, além de determinados líquidos cujas suas particularidades tornem inviáveis seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água (NBR 10004/2004).

IPT/CEMPRE (2000) define esses resíduos como restos das atividades humanas que são considerados pelos seus geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Entretanto, que esse conceito absolutamente utilitário e relativo, pois objetos e materiais descartados por determinadas pessoas podem ser aproveitados por outras, não se constituindo, portanto, de lixo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, 1997).

Normalmente são utilizados indistintamente os termos resíduos sólidos ou lixo. Esse último é todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido, por ter sido descartado ou considerado inútil por seu dono.

A composição dos resíduos sólidos varia de uma comunidade para outra e este fato se deve a hábitos e costumes da população, número de habitantes do local, poder aquisitivo, variações sazonais, clima, desenvolvimento, nível de educação, além de variar de acordo com a estação do ano (FUNASA, 2007).

Ainda de acordo com Funasa (2007), os resíduos sólidos são constituídos, de substâncias facilmente degradáveis, moderadamente degradáveis, dificilmente degradáveis e não degradáveis.

- Facilmente degradáveis (FD): as de fácil degradação são restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, animais mortos e excrementos;
- Moderadamente degradáveis: são materiais provenientes da celulose como papel, papelão etc;

- Dificilmente degradáveis (DD): podemos citar trapos, couro, pano, madeira, borracha, cabelo, pena de galinha, osso, plástico;
- Não degradáveis (ND): metal não ferroso, vidro, pedra, cinzas, terra, areia, cerâmica.

Monteiro et al. (2001) comentam que existem diversas maneiras de classificar os resíduos sólidos, sendo as mais utilizadas as que classificam os resíduos sólidos quanto aos riscos de potencial de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem do material.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), na NBR 10.004, os resíduos sólidos podem ser classificados em perigosos (Classe I), não perigosos (Classe II), não inertes (classe IIA) e inertes (classe II B). Os resíduos perigosos são os que apresentam propriedades físicas, químicas e ou infecto-contagiosas, podem trazer risco à saúde pública e ao meio ambiente, tendo uma das seguintes características inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Essa mesma norma classifica os resíduos não perigosos como aqueles que não oferecem risco à saúde e ao meio ambiente, entre eles podemos citar: resíduos de restaurante (resto de alimento), sucata de metais ferroso e não ferrosos, papel e papelão, plástico polimerizado, borracha, madeira, materiais têxteis, minerais não metálicos, areia de fundição, bagaço de cana entre outros resíduos não perigosos. Esses resíduos podem ser classificados também como não inertes e inertes. Os não inertes são aqueles que não se enquadram como perigosos ou inertes. Esses resíduos podem ter como propriedades biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

No caso dos resíduos inertes é necessário analisar os resíduos com base no teste de solubilidade da norma ABNT NBR 10006/2004, de forma que a amostra seja representativa (ABNT NBR 10007/2004). Se esses resíduos não apresentarem qualquer de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos

padrões de potabilidade de água, com exceção dos padrões cor, turbidez, dureza e sabor, ele é classificado como resíduo inerte (resíduo de classe IIB).

Para Monteiro et al. (2001), os resíduos sólidos podem ser classificados em cinco classes distintas e de acordo com sua origem: doméstico ou residencial, comercial, público, domiciliar especial e fontes especiais.

Os resíduos domésticos são originados nas residências, sendo resultante de atividades cotidianas como limpar a casa, cozinhar, ir ao banheiro, estudar. Esses resíduos são normalmente constituídos por resíduos úmidos (contém matéria orgânica, como restos de alimentos (cascas de frutas, verduras etc) e por resíduos secos (sem matéria orgânica) como produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens). Contém, ainda, alguns resíduos que podem ser tóxicos. Existem fatores que podem influenciar na quantidade e na qualidade dos resíduos como: clima e estação do ano, dias da semana e situação sócio-econômica (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, 1997).

Os resíduos de comércio são originados nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes etc, tendo como principais componentes papel, plásticos, embalagens diversas e resíduos de higiene dos funcionários, tais como papel toalha, papel higiênico etc (IPT/CEMPRE, 2000). Esses resíduos variam de acordo com a atividade desenvolvida, mas de maneira geral, assemelham-se qualitativamente com os resíduos domésticos (FUNASA, 2007).

Os resíduos públicos são originados dos serviços de limpeza pública urbana, incluindo todos os resíduos de capina, raspagem, varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, de córregos e de terrenos, restos de podas de árvores etc. Estão também incluídos animais mortos, móveis velhos e outros materiais deixados pela população indevidamente nas ruas (BARROS; MÖLLER, 2003).

Existem ainda, os resíduos domiciliares especiais, esse grupo é formado por pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneus e entulhos de obra. Este último

está enquadrado neste grupo por causa da grande quantidade gerada desse resíduo e pela importância que sua recuperação e reciclagem (PEREIRA, 2003).

Além dos resíduos comuns existem os resíduos de fontes especiais, que para Monteiro et al. (2001), apresentam características peculiares, fazendo com que necessitem de cuidados especiais em seu acondicionamento, transporte, manipulação e disposição final. Estão incluídos nessa classificação os resíduos de serviço de saúde, portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, industrial, agrícola e radioativo. Barros e Möller (2003) comentam que devem ser incluídos nessa fonte os lodo de tratamento de água e esgoto.

Os resíduos de serviço de saúde constituem resíduos sépticos, ou seja, que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. São produzidos em serviços de saúde tais como hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde etc. Esses resíduos podem ser agrupados em dois níveis distintos resíduos comuns<sup>2</sup> e resíduos sépticos<sup>3</sup> (LEITE; SCHALCH; CATRO, 2004).

Os resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, constituem resíduos sépticos, que podem conter germes patogênicos trazidos aos portos, terminais rodoviários e aeroportos. São constituídos basicamente, de material de higiene, asseio pessoal e restos de alimentação que podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países (LEITE; SCHALCH; CATRO, 2004).

Os resíduos industriais são aqueles originados nas atividades industriais como metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia etc. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinza, lodo, óleo, resíduos

---

<sup>2</sup> **Resíduos comuns:** Resíduos assépticos desses locais, constituídos por papéis, restos da preparação de alimentos, resíduos de limpeza geral (pó, cinza etc.) e outros materiais que não entram em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são considerados domiciliares;

<sup>3</sup> **Resíduos sépticos:** agulhas, seringas, gaze, bandagens, algodão, órgãos e tecidos removidos, meios de cultura e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazo de validade vencido, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos e raios X etc.

alcalinos ou ácidos, plástico, papel, madeira, fibras, borracha, metais, escórias, vidro e cerâmica etc. Nessa categoria inclui-se a grande maioria do lixo considerado tóxico classificado como perigoso (classe I) (IPT/CEMPRE, 2000). Segundo Lopes et. al. (2002) a composição dos resíduos industriais depende do tipo de indústria e de seu processamento.

Os resíduos agrícolas são originadas das atividades agrícolas e da pecuária, entre eles podemos destacar embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, entre outros. Em várias regiões do mundo, já existe uma preocupação crescente relativas a esses resíduos, em função de enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva e com as embalagens de agroquímicos diversos, que são altamente tóxicos, e têm sido alvo de legislação específica, definindo os cuidados na sua destinação final e, por vezes, co-responsabilizando a própria indústria fabricante desses produtos (IPT/CEMPRE, 2000).

Os resíduos radioativos são resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais, sendo que no Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final estão gerencia da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (PEREIRA, 2003).

Também são gerados resíduos no tratamento de água e de esgoto, chamados de lodo (Lodo de tratamento de água de esgoto). Segundo Cordeiro e Campos (1999) o lodo removido nas estações de tratamento de água (tradicionais ou completas), de maneira geral, são produzidos em sistemas de sedimentação dos sólidos chamados decantadores. Esses tanques promovem a remoção desse lodo por meio da sedimentação das partículas ao longo do tempo, sendo que, esses podem ficar depositados no fundo dos decantadores durante vários dias, sendo removidos de forma manual e por jatos de água ou por raspadores de fundo continuamente.

Von Sperling (2006) cita que geralmente são gerados subprodutos nas diversas etapas do tratamento dos esgotos, como material de gradeamento, área,

escuma, lodo primário, lodo secundário (lodo biológico) e lodo químico (caso haja etapa físico-química no tratamento). Dentre esses sólidos, a principal preocupação está na produção de lodo, devido ao seu volume e massa gerados.

### 3.1 LODO DE ESGOTO

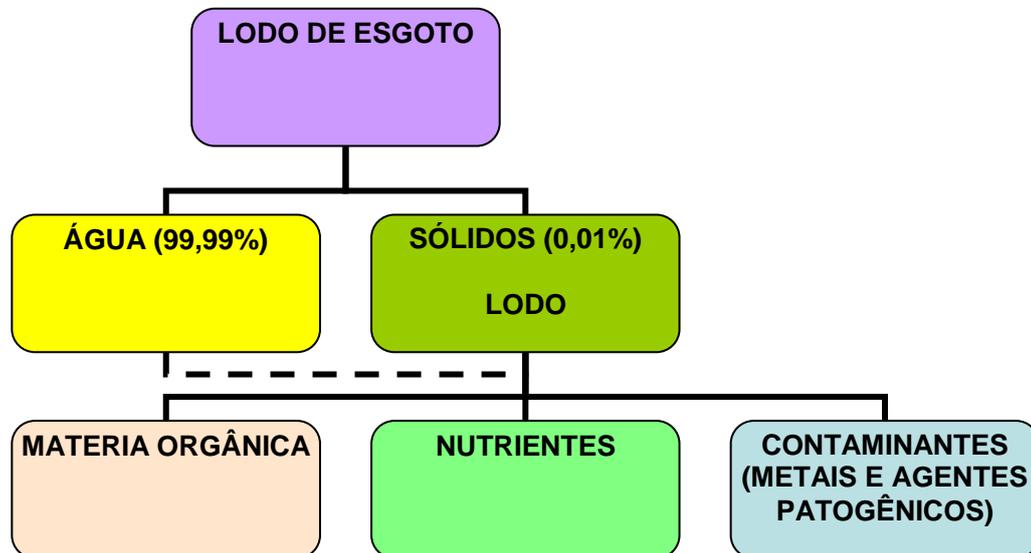
No tratamento de esgoto são gerados principalmente três subprodutos: o efluente líquido tratado, que é encaminhado ao corpo receptor; os gases, que devem ser tratados ou queimados antes do lançamento na atmosfera; e o lodo, que deve ser desaguado e tratado antes de ser transportado para destinação final na agricultura, em incineradores ou em células de aterro sanitário.

O lodo de esgoto pode ser classificado como primário ou secundário. O lodo primário é obtido na sedimentação de material particulado do esgoto em decantadores primários. Já o lodo secundário é proveniente de reatores biológicos e deve possuir sólidos não-biodegradáveis contidos no afluente e massa microbiana que cresce no reator (AISSE et al., 1999). De acordo com Von Sperling e Gonçalves (2007), o lodo secundário dependendo do ambiente pode ser de natureza aeróbia ou anaeróbia. Existe ainda, o lodo químico, gerado na etapa físico-química no sistema, com a finalidade de melhorar o desempenho do decantador primário e dar polimento ao efluente secundário.

De acordo com Silva et al. (2007a), o lodo de esgoto apresenta vários componentes orgânicos e minerais que conferem características de fertilizantes mas, também possui outros componentes indesejáveis, pelo risco sanitário e ambiental. Esses componentes são os metais pesados, poluentes orgânicos variados e microrganismos patogênicos.

O lodo é um material heterogêneo cuja composição depende do tipo de tratamento empregado para purificar o esgoto, das características das fontes geradoras (população e indústrias) e de seu caráter sazonal. Geralmente, um lodo de esgoto apresenta matéria orgânica, macro e micronutrientes, entretanto, esse

resíduo também apresenta contaminantes como metais e agentes patogênicos. No Fluxograma 1 é possível observar a composição do lodo de tratamento de esgoto (TSUTIYA et al., 2001a).



Fluxograma 1 – Composição do lodo de esgoto.

Fonte: Adaptado de Tsutyia et al. (2001a).

### 3.1.1 Matéria orgânica

A matéria orgânica pode ser classificada como biodegradável e não biodegradável. O percentual de matéria orgânica no esgoto equivale a 70%, sendo está constituída por: 40 a 60% de proteínas, 25 a 50% carboidratos, (10%) gorduras e óleos e uréia, sulfatantes, fenóis, etc (FUNASA, 2007).

De acordo com Andreoli et al. (1998), no tratamento de esgoto a matéria orgânica do esgoto precipita junto com as partículas minerais. Essa matéria orgânica encontrada no lodo de esgoto pode influenciar positivamente em algumas características do solo, melhorando sua sustentabilidade e com reflexos ambientais como: redução da erosão e conseqüentemente melhoria da qualidade dos recursos hídricos. No entanto, esse resíduo deve ser estabilizado devido ao percentual de matéria orgânica, pois pode causar problemas de odor e atração de vetores.

Segundo os mesmos autores há grande interesse do lodo na agricultura, em relação ao seu conteúdo nutrientes minerais (principalmente nitrogênio e fósforo) e micronutrientes, mas principalmente pelo teor de matéria orgânica.

O percentual de matéria orgânica no lodo varia com o volume de esgoto tratado e o tipo de tratamento empregado. Na Tabela 1 o teor de matéria orgânica varia de 36,2 a 69,4.

Tabela 1 - Percentual de matéria orgânica no lodo encontrado em algumas ETEs na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Parâmetro	Estações de Tratamento de esgoto da RMRJ											
	Penha	Ilha do governador	Barueri	Suzano	Belém	RALF's	Brasília	S.B.Campo	Valparaíso	CETREL	Londrina Norte	V. Nova do Imigrante
% de Matéria orgânica	52,5	53,4	44	ND	69,4	36,2	52,5	ND	54,8	53,0	53,6	55,5

N.D = Não disponível.

Fonte: Volschan Junior, Jordão e Paixão (2001).

A quantidade de matéria orgânica no lodo também depende do tipo de esgoto a ser tratado. Em esgotos de algumas indústrias esse percentual é superior ao de esgoto doméstico, isso faz com que o lodo dos processos industriais tenha a maior quantidade de matéria orgânica. De acordo com Ferraz Junior et al. (2001), a quantidade de matéria orgânica no lodo da Indústria de cerveja é igual a 659,0 g/Kg de sólidos.

### 3.1. 2 Nutrientes

Os nutrientes são classificados como macronutrientes e micronutrientes. Dentre os macronutrientes podemos citar principalmente carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), cloro (CL), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e o ferro (Fe). Como micronutrientes podemos relacionar o alumínio (Al), boro (Bo), cromo (Cr), Zinco (Zn), molibdênio (Mo), vanádio (V), e o cobalto (Co) (BRAGA et al., 2002).

Santos e Tsutiya (1997) descrevem que o lodo de esgoto contém três nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, que são nitrogênio (N), fósforo (F com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e potássio (K como K<sub>2</sub>O). Porém, os autores ressaltam que esses elementos estão em quantidade menor do que o encontrado em fertilizantes comerciais, e em lodos digeridos a relação é igual a 3,0 – 2,5 – 1,0% (N:P:K).

Jordão e Pessoa (2005) relatam que a concentração de nutrientes no lodo varia de acordo com local de origem é o tipo de tratamento empregado, como podemos verificar na Tabela 2.

Tabela 2 – Nutrientes encontrados em ETEs do Paraná e do Rio de Janeiro.

ETE	Nutrientes				
	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
ETE Belém-PR	2,9	2,2	0,21	1,59	0,60
ETE Penha-RJ	3,87	0,46	0,19	2,07	0,45
ETE Ilha do governador-RJ	3,19	0,82	0,17	2,10	0,44

Fonte: Valschan Junior, Jordão e Paixão (2001) e Fernandes et al. (2001).

No Brasil, e principalmente nos estados de São Paulo e Paraná e no Distrito Federal, existem diversas pesquisas sobre a utilização do lodo de esgoto como fertilizante agrícola, adubo orgânico e condicionador de solo, devido ao percentual de nutrientes.

Entre esses diversos estudos onde o lodo é utilizado pelo seu percentual de nutrientes e matéria orgânica podemos citar: Costa et al. (2001) utilizou o lodo na cultura de mamoeiro como fonte de matéria orgânica e nutrientes, sendo ainda mais produtivo quando higienizado com cal virgem. Faustino et al. (2005) utilizaram de lodo higienizado como substrato para produção de mudas, o que mostrou-se uma opção viável, devido ao aporte de nutrientes e matéria orgânica. Fernandes et al. (2001), apresentaram resultados da reciclagem na agricultura de 6.000 toneladas de lodo com cal, na região metropolitana de Curitiba, na cultura de milho, frutas e na produção de plantas e relataram que o lodo pode ser utilizado como adubo orgânico sem prejuízos da qualidade e produtividade como no caso da cultura de tomateiro.

### **3.1. 3 Metais pesados**

Segundo Silva et al. (2007a), o termo metal pesado do ponto de vista ambiental é o metal que em determinadas concentrações e tempo de exposição oferece riscos à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos. Os principais elementos enquadrados nesse conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Entre os metais pesados, existem elementos essenciais em certas quantidades como (As, Co, Cr, Cu, Se e Zn), enquanto os outros elementos por não terem função no metabolismo, são considerados tóxicos às plantas e animais.

Segundo Volschan Junior, Jordão e Paixão (2001), o lodo pode conter vários tipos de metais, em baixas concentrações esses elementos são considerados fundamentais ao crescimento das plantas. No entanto, sob altas concentrações esses podem ser tóxicos aos seres humanos, aos animais e às plantas. Entre esses elementos são destacados: o arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco.

Os metais pesados podem estar presentes no lodo, pois as ETEs recebem esgotos sanitários, que é composto por esgoto doméstico, água de infiltração e uma parcela de esgoto industrial. Sendo assim, o lodo de origem doméstica tende a apresentar teores mais elevados de metais quando houver maior contribuição de esgoto industrial, aumentando assim, o seu potencial poluidor e os riscos ao meio ambiente, às plantas, aos animais e ao homem (TSUTIYA et al., 2001a).

Segundo Malavolta (1994), o teor de metais pesados no lodo é bastante variável devido ao tipo e proporção de esgotos doméstico e industrial que contribui para sua formação.

Para Tsutiya et al. (2001b) o lodo também apresenta na sua composição diferentes tipos e concentrações de metais. Na Tabela 3 são apresentados as concentrações de metais pesados em biossólidos (lodo estabilizado, higienizado e seco) em algumas ETEs brasileiras e os valores limites recomendados pela norma CETESB P. 4.230.

Tabela 3 - Concentração de metais pesados em Biossólidos produzido em algumas ETEs brasileiras.

ETE	As	Cd	Pb	Cu	Hg	Mo	Ni	Se	Zn
	mg.Kg <sup>-1</sup> , base seca								
Barueri (São Paulo-SP)	12	18	189	850	2	13	349	1	1870
Suzano (São Paulo-SP)	39	6	345	733	24	19	227	0,8	1873
Franca (Franca- SP)	0,2	7	31	160	0,14	5,5	34	0,3	1560
Lavapés (S.J. Campos-SP)	nd	6	2	26	nd	nd	32	nd	25
Belém (Curitiba –PR)	nd	nd	123	439	1	nd	73	nd	824
RALF	nd	nd	64	89	0,5	nd	40	nd	456
Brasília (Brasília-DF)	nd	10	50	186	4	nd	34	nd	1060
CETESB	75	85	840	4300	57	75	420	100	7500

Fonte: Tsutiya et al (2001b).

Para que sejam reduzidos os níveis de metais no lodo, é necessário a implantação de procedimentos de minimização de resíduos no processo de produção e/ou nos processos de pré-tratamento que antecedem o sistema de esgotamento sanitário (VOLSCHAN JUNIOR; JORDÃO; PAIXÃO, 2001).

### 3.1. 4 Microrganismos

Os principais microrganismos patogênicos encontrados no esgoto são vírus, bactérias e parasitas como protozoários, ovos de nematóides e helmintos (AISSE et al., 1999). Esses microrganismos, durante o processo de tratamento de esgoto, ficam absorvidos as partículas de sólidas e após a sedimentação da partícula, ficam concentra no lodo (TSUTIYA et al., 2001a).

Essa contaminação microbiológica do lodo se deve a existência de material fecal no esgoto, sendo assim, dependente das características epidemiológicas da população local e dos efluentes lançados na rede coletora (MALTA apud VILASBOAS; ZIELINSKI, 2005).

De acordo com Silva et al. (2007a), esses agentes patogênicos podem ser de procedência humana ou animal. A humana reflete o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região, já a animal, pode ocorrer pela contaminação da rede de esgoto por fezes de animais como cães e gatos ou pela presença de animais na rede de esgoto, principalmente roedores. Sendo que, a quantidade de patógenos no lodo depende de algumas variáveis como: condições sócio-econômicas da população, condições sanitárias, região geográfica, presença de indústrias agro-alimentares, tipo de tratamento que o lodo fio submetido.

Segundo Braga et al. (2002), os organismos patogênicos mais comuns no esgoto e as doenças por eles causadas são bactérias (leptospirose, febre tifoide, febre paratifoide, cólera etc), vírus (hepatite infecciosa e a poliomielite), protozoário (amebíase e a giardíase) e helmintos (esquistossomose e a ascaridíase).

Normalmente são utilizados como indicadores de sanidade do lodo esgoto os seguintes parâmetros: Coliformes totais, Coliformes fecais, *Streptococcus*, ovos de helmintos, cistos de protozoários.

De acordo com Fernandes et al. (2001) no lodo da ETE Belém foi encontrado respectivamente  $7,54 \times 10^8$ ,  $86,4 \times 10^6$ ,  $36,4 \times 10^6$ , 429, 2,4 de Coli total, Coli fecal, Estreptococos, ovos de helmintos e cistos de protozoários. E segundo Costa et al. (2001), na ETE Eldorado no município de Serra Vitória foram encontrados somente  $2,7 \times 10^3$  de coli fecal, 89,8 ovos de helmintos e 1,2 cistos de protozoários.

Os patógenos de maior importância são os estreptococos, salmonella sp., shigella sp., larvas e ovos de helmintos, cistos de protozoárias e vírus (enterovirus e rotavírus). Alguns desses microorganismos patogênicos sobrevivem em ambiente edáfico por poucas horas, entretanto, outros como o ovos de helmintos permanecem nestes ambientes por vários anos (FERREIRA; ANDREOLI; LARA, 1999).

Para Andreoli et al. (1998), os helmintos são os mais resistentes ao tratamento, merecem atenção no estado de Taenia solium cujos ovos, se ingeridos junto a verdura infectada ou na água poluída, podem causar a neurocisticercose.

Os helmintos segundo Passeto (2007) no dossiê do saneamento quando associados à água podem transmitir esquistossomose e quando transmitidos pelo solo causam ascaridíase (lombriga), tricuriase ancilostomíase (amarelão). Sendo assim, para que não ocorra contaminação da água e do solo o lodo deve ser, já que este microorganismo permanece por muito tempo no meio ambiente, ele deve ser tratado e disposição final adequado.

Ferreira, Andreoli e Prevedello (2002) e Faustino et al. (2005) e Goldinho, Chernicharo e Honório (2003), observaram que os ovos de helmintos são excelentes indicadores, por serem organismos mais resistentes ao processo de higienização.

Goldinho, Chernicharo e Honório (2003) verificaram que os ovos de helmintos estavam presentes nos três diferentes tipos lodos (Lodo 1= Lodo Reator UASB em pequena escala, Lodo 2 = Lodo Reator UASB em escala de demonstração e lodo 3 = decantador primário e digestor anaeróbico) analisadas. Sendo que o gênero ovo de *Ascaris sp* foi o parasita mais detectado, entretanto, também foram encontrados ovos de *Trichuris sp*, *Toxocara sp*, *Hymenolepis sp* e ancilostomídeos em quantidades variadas. Na pesquisa de Faustino et al. (2005), o principal patógeno encontrado também foi helmintos (ovos) do gênero *Ascaris sp*.

### 3.2 PRODUÇÃO DE LODO

Os sistemas de coleta, tratamento e destino final de esgoto (SES) podem ser individual ou coletivo. No sistema individual coleta e/ou são tratadas pequenas quantidades de esgoto sanitário de imóveis domiciliares, comerciais e públicos em locais desprovidos de rede coletora de esgoto. Normalmente, os tanques sépticos são utilizados como solução individual (PEREIRA; SOARES, 2006), no entanto, esse tipo de sistema de tratamento é recomendado para ser utilizado por até 100 habitantes (NBR 7229/1993).

Essa unidade é um tanque de sedimentação fechado (Figura 1), de escoamento contínuo horizontal, com o esgoto passado lentamente de modo que permita a sedimentação dos sólidos no fundo (DALTRO FILHO, 2004).

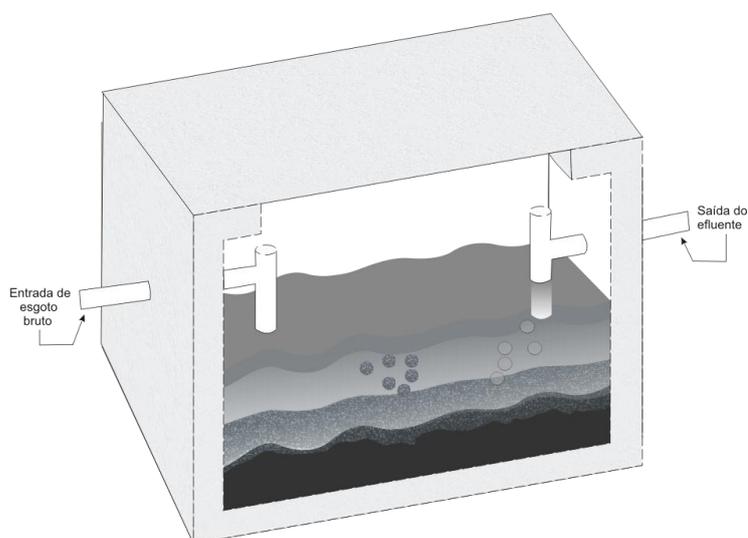


Figura 1 –Tanque séptico.  
Fonte: Barbosa e Pereira (2005).

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993) na NBR 7229/1993, os tanques sépticos podem ter diferentes configurações, sendo diferenciados pelo número de câmaras, ou compartimentos, e como elas são dispostas em tanque séptico de câmara única; tanque séptico de câmaras em série; tanque séptico de câmaras sobrepostas.

A NBR 7229/1993 sugere que os efluentes líquidos dos tanques sépticos devem passar por tratamento complementar como filtro anaeróbio, filtro aeróbio, filtro de área, vala de infiltração escoamento superficial e desinfecção e devem ser dispostos em poço absorvente (sumidouro), vala de infiltração, corpo d'água e sistema público (simplificado).

Aisse (2000) cita que há geração de lodo no tanque séptico, e esse resíduo é bastante denso, estável, de odor não ofensivo, facilmente seco e adequado para o uso agrícola após um processo de higienização.

O lodo dos tanques sépticos deve ser descartado periodicamente para garantir bom funcionamento desse digestor anaeróbio. O lodo proveniente de tanque séptico é considerado lodo primário, por ser produto de decantação primária, permanecendo no sistema por tempo suficiente para favorecer sua digestão anaeróbia em condições controladas (JORDÃO;PESSOA, 2005).

De acordo com a NBR 7229 (1993), a produção per capita de lodo fresco para prédios de ocupação permanente (Lf) é de 1,0 l/hab.dia e para os de ocupação temporárias (fabricas, escritórios, edifícios públicos, escolas, cinema, teatro, restaurante e similares entre outros) varia de 0,02 a 0,30 l/hab.dia. No caso de sanitários públicos como estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc o valor aumenta para 4 l/hab.dia.

Para Aisse et al. (1999), no caso de lodo tipicamente doméstico, a produção per capita de lodo de TS é de 1,0 l/hab.dia. Entretanto, Philippi ( apud

PAULO JUNIOR et al. ,2003) diz em seu estudo com 42 tanques de 2 e 4 m<sup>3</sup>, que a taxa de acumulo de lodo é inferior a 0,2 L/pessoa.dia. Esse valor permite o cálculo do volume de lodo para intervalo de limpeza de 5 anos, o qual e considerado como tempo ideal para os autores.

Paulo Junior et al. (2003) ressaltam que apesar da NBR 7229/1993 sugerir período de limpeza 1 a 5 anos para os tanques sépticos, esses bem projetados e construídos adequadamente podem demandar tempos maiores para também retirada desse lodo.

De acordo com Rocha e Sant Anna (2005), a produção de lodo de tanque séptico em Joinville para uma população de 420.000 habitantes e de aproximadamente 30.660 metros cúbicos por ano sendo que apenas 27.594 metros cúbicos de lodo por ano devem ser removidos, no calculo os autores utilizaram os seguintes paramentos: intervalo de 1 a 5 anos para remoção de lodo e uma taxa de acumulação de lodo de 0,2 L/hab.dia e limpezas anuais, com 10% do volume permanecendo no tanque.

O crescimento populacional e a redução de áreas livres nas habitações para utilização de sistemas individuais tornam necessário o uso de soluções coletivas em locais de médio e de grande adensamento populacional, como os sistemas coletivos (estações de tratamento de esgoto) como podem ser visto na \_Fotografia 1 (PEREIRA; SOARES, 2006).



Fotografia 1 – Vista aérea da ETE Franca.  
 Fonte: Biblioteca didática de Tecnologias Ambientais (2007).

Os sistemas coletivos de tratamento de esgoto são classificados em: preliminar, primário, secundário e terciário, (Quadro 1). Segundo Jordão e Pessoa (2005), os processos de tratamento são classificados assim, em função dos fenômenos de remoção ou transformação e do grau de eficiência obtido por um ou mais dispositivos de tratamento.

Quadro 1 - Níveis de tratamento de esgoto.

NÍVEL DE TRATAMENTO	UNIDADE	REMOÇÃO
<b>Preliminar</b>	Unidades de gradeamento Caixas de gordura Caixas de areia (desarenadores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos grosseiros</li> <li>• Gorduras</li> <li>• Areia</li> </ul>
<b>Primário</b>	Decantadores primários (sedimentação) Unidades de flotação Digestão de lodo Leitos de secagem (secagem do lodo) Tanque Imhoff (Sedimentação e digestão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos em suspensão sedimentáveis</li> <li>• DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos)</li> </ul>

	Sistema Anaeróbio - Lagoa anaeróbia e Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente UASB	sólidos em suspensão (sedimentáveis)
<b>Secundário</b>	Filtração biológica Processos de lodos ativados Decantação intermediária ou final Lagoas de estabilização (facultativas, aeradas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão não removida no tratamento primário)</li> <li>• DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos)</li> </ul>
<b>Terciário</b>	Lagoas de maturação Desinfecção Processos de remoção de nutrientes Filtração final	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutrientes</li> <li>• Patogênicos</li> <li>• Compostos biodegradáveis não</li> <li>• Metais pesados</li> <li>• Sólidos inorgânicos dissolvidos</li> <li>• Sólidos em suspensão remanescentes</li> </ul>

Fonte: Adaptado de JORDÃO (1995); VON SPERLING (1996) apud Barbosa e Silva (2002).

Os processos de tratamento de esgoto em suas diversas fases geram lodos com características e quantidades variáveis. Entre as fases podemos citar a produção de lodo nos decantadores primários, nos tratamentos secundários realizados pelo incremento da atividade microbiana aeróbia e/ou anaeróbia, de forma a converter os sólidos dissolvidos em sólidos suspensos (biomassa microbiana) e reduzir o conteúdo da matéria orgânica pela sua respiração. Posteriormente a biomassa microbiana é sedimentada junto com outras partículas não-biodegradáveis contidas no efluente produzindo o lodo secundário, dependendo do ambiente esse lodo pode ser anaeróbio ou aeróbio e a dos tratamentos que utilizam produtos químicos (ANDREOLI et al., 1998).

Segundo esses autores, geralmente os decantadores primários produzem de 2500 a 3500 litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, tendo esse resíduo 3 a 7% de sólidos e de 60% a 80% de matéria orgânica. E os tratamentos biológicos aeróbios produzem 15 a 20 mil litros de lodo por milhões de litros tratados que cotem 0,5 a 2% de sólidos e 50 a 60% de matéria orgânica, enquanto os anaeróbios produzem quantidades bem menores de lodo.

De acordo Pereira e Mendes (2003), os sistemas que utilizam produtos químicos produzem maior quantidade de lodo do que os processos biológicos, e entre os processos biológicos os aeróbios produzem maior quantidade de lodo do que os anaeróbios, sendo esse valor aproximadamente 5 vezes maior que o volume de lodo nos processos anaeróbios.

Para Cassini, Vazoller e Pinto (2003), o tratamento anaeróbio também é o que gera menor quantidade de lodo. Mas a produção do anaeróbio para os autores equivalente a 20% da produção de processos aeróbios.

Os mesmos autores ressaltam que a combinação de processos aeróbios com físicos-químicos e anaeróbios com aeróbios está sendo utilizada em novos projetos para minimização da produção de lodo. Além disso, na associação anaeróbio/aeróbio o processo aeróbio é importante para complementar o anaeróbio, devido à redução da massa total de lodo a 60%.

Todos os sistemas de tratamento de esgoto acumulam lodo, e em um determinado momento esse lodo deve ser removido para que ele não saia no efluente final, o que provocaria deteriorização do mesmo em termos de sólidos em suspensão e matéria orgânica. No entanto, nem todos os sistemas de tratamento de esgoto necessitam de descarte contínuo desta biomassa. Existem sistemas que conseguem armazenar o lodo por todo horizonte de operação da estação (ex: lagoas facultativas), outros permitem descarte apenas eventual (ex: reatores anaeróbios) mas tem os que precisam uma retirada contínua ou bastante freqüente.

Paula Junior et al. (2003) ressaltam que esses diversos tipos de tratamento de esgoto produzem lodos com quantidade e a qualidades variáveis, sendo que a produção lodo depende de alguns fatores, como: vazão, características do esgoto a ser tratado, tipo de tratamento utilizado e forma com que esse tratamento está operando.

Naval e Silva (2001) afirmam que à medida que as redes coleta de esgoto são ampliadas e implantadas novas estações de tratamento há o aumento da produção de lodo.

Pegorine et al. (2003) constataram em sua pesquisa que as ETE's com RALF (Reator anaeróbio de lodo fluidizado) tem menor produção de lodo em relação aos sistemas aeróbios, pois na pesquisa sobre produção de lodo em ETEs, a ETE

Belém, cujo tratamento é aeróbio tem o dobro da produção da ETE Atuba, sendo que essas estações tratam esgoto de populações semelhantes. Isso confirma o que diz a literatura sobre a produção do lodo em processos aeróbios ser maior que nos anaeróbios.

Nestas estações se observou que as 27 estações com produção de lodo anaeróbio e população de até 1.000 habitantes produzem juntas cerca de 250 kg de SS/dia. As 12 estações com 10.000 habitantes produzem em torno de 530 kg de SS/dia. As três (03) estações que apresentam populações até 100 mil produzem 830 kg de SS/dia. Das três (03) ETE's com mais de 100 mil habitantes, apenas a ETE Belém trata esgoto aeróbio e produz 16.900 kg de SS/dia e as outras duas juntas produzem aproximadamente 10.100 kg de SS/dia. Como podemos verificar na Tabela 4.

Tabela 4 – Estimativa teórica de produção de lodos em sistemas de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de Curitiba.

<b>ETE</b>	<b>População de projeto (habitantes)</b>	<b>Sistema de tratamento</b>	<b>Produção de lodo (Kg SS/dia)</b>
27 até 1000 hab	16.955,00	anaeróbio	254,35
12 ETEs com até 10. 000 hab	35.450,00	anaeróbio	531,76
3 ETEs com até 100. 000 hab	55.285,00	anaeróbio	829,28
3 ETEs com mais de 100. 000 hab	1.173.500,00	anaeróbio/ aeróbio	27.002,37

Fonte: Pegorine et al. (2003).

Com base nos dados de Pegorine et al. (2003), e possível estimar que a produção diária por habitante varia de 15 a 33,80 L/hab.dia.

Machado (2001) quantificou a produção de lodo de 275 ETEs no território nacional, que atendem cerca de 28.877.974 habitantes e a contribuição média per capita de 33 kg SST.ano<sup>-1</sup>. A produção de lodo foi estimada em 151.724 ton SST.ano<sup>-1</sup>. Portanto, a produção de lodo relativa à população total chega a 372.00 ton SST.ano<sup>-1</sup>.

De acordo com Von Sperling (2006), na Tabela 5 e apresentado a geração per capita de lodo líquido a ser tratado e desidratado a ser disposto em (L/hab.dia) para vários sistemas de tratamento de esgoto.

Tabela 5 – Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgoto, expressos em valores per capita. Continua

Sistema	Demanda de área (m <sup>2</sup> /hab)	Potência para aeração		Volume de lodo		Custos	
		Potência instalada (w/hab)	Potência consumida (w/hab)	Lodo líquido a ser tratado (L/hab.ano)	Lodo desidratado a ser disposto (L/hab.ano)	Implantação (R\$/hab)	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)
<b>Tratamento primário (tanques sépticos)</b>	0,03-0,05	0	0	110-360	15-35	30-50	1,5-2,5
Tratamento primário convencional	0,02-0,04	0	0	330-730	15-40	30-50	1,5-2,5
Tratamento primário avançado (a)	0,04-0,06	0	0	730-2500	40-110	40-60	8,0-15,0
Lagoa facultativa	2,0-4,0	0	0	35-90	15-30	40-80	2,0-4,0
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	1,5-3,0	0	0	55-160	20-60	30-75	2,0-4,0
<b>Lagoa aerada facultativa</b>	<b>0,25-5,0</b>	<b>1,2-2,0</b>	<b>11-18</b>	<b>30-220</b>	<b>7-30</b>	<b>50-90</b>	<b>5,0-9,0</b>
Lagoa aerada mistura completa – lagoa sedimentação	0,2-0,4	1,8-2,5	16-22	55-360	10-35	50-90	5,0-9,0

## Conclusão

Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	3,0-5,0	0	0	55-160	20-60	50-100	2,5-5,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de alta taxa	2,0-3,5	<0,3	<2	55-160	20-60	50-90	3,5-6,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas	1,7-3,2	0	0	60-190	25-70	50-90	3,5-6,0
Infiltração lenta	10-50	0	0	-	-	20-60	1,0-3,0
Infiltração rápida	1,0-6,0	0	0	-	-	30-70	1,5-3,5
Escoamento superficial	2,0-3,5	0	0	-	-	40-80	2,0-4,0
Terras úmidas construídas (wetlands)	3,0-5,0	0	0	-	-	50-80	2,5-4,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	0,2-0,35	0	0	180-1000	25-50	80-130	6,0-10
Tanque séptico + infiltração	1,0-1,5	0	0	110-360	15-35	60-100	3,0-5,0
Reator UASB	0,03-0,10	0	0	70-220	10-35	30-50	2,5-3,5
<b>UASB + lodos ativados</b>	<b>0,08-0,2</b>	<b>1,8-3,5</b>	<b>14-20</b>	<b>180-400</b>	<b>15-60</b>	<b>70-110</b>	<b>7,0-12</b>
UASB + biofiltro aerado submerso	0,05-0,15	1,8-3,5	14-20	180-400	15-55	65-100	7,0-12
UASB + filtro anaeróbio	0,05-0,15	0	0	150-300	10-50	45-70	3,5-5,5
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	0,1-0,2	0	0	180-400	15-55	60-90	5,0-7,5
<b>UASB + flotação por ar dissolvido</b>	<b>0,05-0,15</b>	<b>1,0-1,5</b>	<b>8-12</b>	<b>300-470</b>	<b>25-75</b>	<b>60-90</b>	<b>6,0-9,0</b>
UASB + lagoas de polimento	1,5-2,5	0	0	150-250	10-35	40-70	4,5-7,0
UASB + lagoa aerada facultativa	0,15-0,3	0,3-0,6	2-5	150-300	15-50	40-90	5,0-9,0
UASB + lagoa aerada mist. Compl. + lagoa decantação	0,1-0,3	0,5-0,9	4-8	150-300	15-50	40-90	5,0-9,0
UASB + escoamento superficial	1,5-3,0	0	0	70-220	10-35	50-90	5,0-7,0
<b>Lodos ativados convencional</b>	<b>0,12-0,25</b>	<b>2,5-4,5</b>	<b>18-26</b>	<b>1100-3000</b>	<b>35-90</b>	<b>100-160</b>	<b>10-20</b>
Lodos ativados - aeração prolongada	0,12-0,25	3,5-5,5	20-35	1200-2000	40-105	90-120	10-20
Lodos ativados - batelada (aeração prolongada) (b)	0,12-0,25	4,5-6,0	20-35	1200-2000	40-105	90-120	10-20
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	0,12-0,25	2,2-4,2	15-22	1100-3000	35-90	110-170	10-22
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P	0,12-0,25	2,2-4,2	15-22	1100-3000	35-90	130-190	15-25
Lodos ativados convencional + filtração terciária	0,15-0,30	2,5-4,5	18-26	330-1500	40-100	130-190	15-25
Filtro biológico percolador de baixa carga	0,15-0,30	0	0	1200-3100	35-80	120-150	10-15
Filtro biológico percolador de alta carga	0,12-0,25	0	0	360-1100	35-80	120-150	10-15
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	0,1-0,15	2,5-4,5	18-26	500-1900	35-90	70-120	8,0-15
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	0,1-0,15	2,2-4,2	15-22	1100-3000	35-90	80-130	8,0-15
Tanque séptico + biodisco	0,1-0,2	0	0	1100-3000	20-75	120-150	10-15

Fonte: Van Sperling (2006).

Cada tipo de lodo possui um volume de lodo per capita, que varia de 1,5 a 25 L/hab.ano. Essa produção volumétrica depende do tipo de tratamento empregado. Nos itens abaixo e mostrado como calcular o volume de lodo de alguns processos:

#### **a) Cálculo do volume de lodo de tanque séptico.**

De acordo com Andrade Neto et al. (1999) o tanque séptico também denominado de decanto-digestores são dimensionados tendo por base o cálculo de dois volumes distintos, que são volume destinado à decantação( $V_D$ ); e volume destinado à acumulação do lodo ( $V_L$ ) . Então o volume útil total do decantado-digestor é:  $V = V_D + V_L$

O volume a ser ocupado pelo esgoto  $V_D$ , é necessário para que haja a decantação dos sólidos. Esse volume pode ser calculado pela equação:  $V_D = Q \times T$ , onde Q contribuição de esgoto (Vazão) e T e tempo de detenção na zona de decantação.

O volume destinado à acumulação do lodo, por sua vez, é composto por dois volumes distintos, que são: Volume destinado à digestão do lodo ( $V_{DIG}$ ) e o volume destinado ao armazenamento do lodo digerido ( $V_{ARM}$ ).

O volume destinado à digestão do lodo pode ser obtido pela expressão:

$$V_{DIG} = N \times L_f \times R_{DIG} \times T_{DIG} \text{ em que:}$$

N : número de pessoas contribuintes;

$L_f$  : contribuição de lodo fresco (l/hab.dia);

$R_{DIG}$  : coeficiente de redução do volume de lodo por adensamento e destruição de sólidos na zona de digestão;

$T_{DIG}$  : tempo de digestão dos lodos.

O lodo após ser digerido, vai se acumular no fundo do decanta-digestor devido ao adensamento e a redução de sólidos voláteis na digestão, ocupa assim um volume bem reduzido em relação ao volume de lodo fresco ( $L_f$ ) produzido.

O volume destinado ao armazenamento do lodo ( $V_{ARM}$ ) depende do período de esgotamento da unidade, pode ser obtido por:

$$V = N \times L_f \times R_{ARM} \times T_{ARM}, \text{ sendo que:}$$

$N$  : número de pessoas contribuintes;

$L_f$  : contribuição de lodo fresco (l/hab.dia);

$R_{ARM}$  : coeficiente de redução do volume de lodo devido a digestão;

$T_{ARM}$  : tempo de armazenamento dos lodos digeridos.

Sendo assim, o volume total destinado ao lodo será, portanto:

$$V_L = V_{DIG} + V_{ARM}$$

Onde:

$V_L = N \times L_f \times (R_{DIG} \times T_{DIG} + R_{ARM} \times T_{ARM})$ , os valores utilizados no cálculo do volume destinado à acumulação do lodo estão na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados no cálculo do volume de um tanque séptico

Parâmetros	Valor
Lf - Contribuição de lodo fresco (L/hab.d)	0,02 a 4
Coeficiente de redução do volume de lodo por adensamento e destruição de sólidos na zona de digestão ( $R_{DIG}$ )	NBR 7929/82 recomenda $R_{DIG} = 0,5$ .
Tempo de digestão dos lodos ( $T_{DIG}$ ) <sup>1</sup>	Para: 15 °C = 60 d Para : 30°C = 25 d No Brasil é utilizado 50 d Em regiões quentes, com temperatura média 25°C, pode ser utilizado = 40 d.
Coeficiente de redução do volume de lodo por adensamento e destruição de sólidos na zona de digestão ( $R_{DIG}$ )	NBR 7929/82 recomenda $R_{ARM} = 0,25$ . Mas Oliveira (1983) 0,15
Tempo de armazenamento dos lodos digeridos ( $T_{ARM}$ ) <sup>1</sup>	Reatores pequenos 2 a 3 anos e os de grande porte a cada 6 meses a um ano.

<sup>1</sup> tempo de armazenamento depende do tempo previsto para remoção periódica de lodo, então  $T_{ARM}$  é o tempo previsto para a remoção do lodo menos o tempo destinado à digestão.

Fonte: Andrade Neto et al. (1999).

## b) Cálculo volume de lodo de ETEs.

O volume de lodo produzido sistemas coletivos tratamento (Estações de tratamento de esgoto - ETEs) é calculada pela Equação ( 1 ).

$$\text{Volume de Lodo (m}^3 \text{ / dia)} = \frac{\text{Produção de lodo (KgSS/d)}}{\text{Sól. secos (\%)} \times \text{Massa específica de lodo (Kg/m}^3\text{)}} \quad ( 1 )$$

Cada tipo de estação de tratamento de esgoto apresenta produção de lodo, que depende das características do processo de tratamento, como podemos verificar nos itens abaixo.

**c) Reatores anaeróbios manta de lodo (Reator UASB).**

Para o cálculo da produção do lodo UASB Equação ( 3 ) é necessário determinar a carga de DQO aplicada ao sistema Equação ( 2 ). Nos cálculos são utilizados os parâmetros da Tabela 7(VON SPERLING; GONÇALVES, 2007).

c.1) Carga de DQO (demanda química de oxigênio) aplicada ao sistema UASB.

$$Carga\ DQO_{aplicada}\ (KgDQO/d) = Concentração\ de\ DQO_{afluente} \times Q_{esgoto} \quad (2)$$

c.2) Produção de lodo UASB.

$$Produção\ (KgSS/d) = Y \times Carga\ de\ DQO_{afluente} \quad (3)$$

Tabela 7 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto de Reatores UASB.

Parâmetro	Faixa
Concentração de DQO <sub>afl</sub>	450 a 800 mg/L
Coeficiente de produção de sólidos (Y)	0,10 a 0,20 KgSS/KgDQO <sub>aplicada</sub>
Teor de sólidos	3 a 6%
Massa Específica do lodo	1020 a 1040 Kg/m <sup>3</sup>
Tempo de descarte de lodo	365 d (1 ano)

Fonte: Von Sperling; Gonçalves (2007).

**d) Reatores anaeróbios manta de lodo com pós-tratamento por lodos ativados convencional.**

A produção total de lodo do sistema UASB mais lodos ativados convencional é calculada pela soma das produções de lodo aeróbio estabilizado no UASB (Equação 11) e produção de lodo anaeróbio do reator UASB (Equação 12). Isso se deve ao fato do lodo aeróbio excedente do tanque de aeração ser recirculado para o reator UASB, onde será estabilizado, tornando-se assim digerido e normalmente adensado, requerendo apenas uma etapa de desaguamento. E também haver produção de lodo anaeróbio no reator UASB. No cálculo da produção do sistema foram utilizados as equações e os parâmetros citados abaixo, respectivamente (VON SPERLING; 2005).

d.1) Carga de DBO (demanda Bioquímica de oxigênio) no esgoto bruto aplicada ao sistema.

$$Carga\ de\ DBO_{aplicada}\ (KgDQO / d) = Concentração\ de\ DBO_{afluente} \times Q_{esgoto} \quad (4)$$

Como o afluente de sistema de lodos ativados é o efluente do reator UASB, considera – se que há uma eficiência de remoção (70%) que e calculada de acordo com a equação abaixo.

$$Carga\ DBO\ afluente\ L.A. = Concentração\ de\ DBO_{afluente} \times (1 - Eficiência) \quad (5)$$

d.2) Produção de lodo aeróbio excedente do tanque aeração a ser dirigido ao reator UASB.

$$Produção\ de\ lodo\ (Px)\ (KgSS / d) = Y \times Carga\ de\ DBO_{afluente} \quad (6)$$

Após o calculo da produção de lodo, deve – se calcular a distribuição do lodo excedente em termos sólidos voláteis e sólidos fixos por meio da relação SSV/SS, que será considerada igual a 0,75. Desta forma a distribuição é:

d.2.1 - Sólidos totais:

Os sólidos totais e igual à produção de lodo aeróbio excedente ( $P_x$ ), o qual é calculada pela Equação ( 6 ) . Os sólidos voláteis e fixos são calculados pelas equações 7 e 8, onde é substituído nas equações o ( $P_x$ ) encontrado e a relação SSV/SS de 0,75.

Sólidos Totais = Produção de lodo ( $P_x$ )

d.2.2 - Sólidos voláteis:

$$\text{Sólidos Voláteis } (P_{xv}) = (SSV/SS) \times P_x \quad ( 7 )$$

d.2.3 - Sólidos Fixos:

$$\text{Sólidos fixos } (P_{xf}) = (1 - SSV/SS) \times P_x \quad ( 8 )$$

Como o lodo aeróbio, gerada no sistema de lodos ativados, e recirculado ao reator UASB, é considerado que ocorra uma remoção de 35% dos sólidos voláteis (SSV) no lodo aeróbio no reator UASB e que a carga de sólidos fixos permanece inalterada. Sendo assim, o lodo aeróbio, digerido no reator UASB pode ser calculado de acordo com as equações abaixo:

d.2.4 - Sólidos voláteis:

$$\text{Sólidos Voláteis } (P_{xv}') = P_{xv} \times (1 - 0,35) \quad ( 9 )$$

d.2.5 - Sólidos fixos:

$$\text{Sólidos fixos } (P_{xf}') = P_{xf} \quad ( 10 )$$

d.2.6 - Sólidos totais = produção de lodo aeróbio estabilizado.

$$\text{Sólidos totais } (P_{x'}) = P_{xv}' + P_{xf}' \quad ( 11 )$$

O  $P_x'$  e a produção de lodo aeróbio do sistema de lodos ativados que foi recirculado para o Reator UASB tornando-se estabilizado, digerido e adensado.

Como o lodo a ser retirado do reator UASB inclui também lodo anaeróbio, usualmente produzido no mesmo. E Supondo um coeficiente de produção de lodo anaeróbio de 0,30 KgSS/KgDBO aplicada ao reator UASB, tem – se a seguinte produção de lodo anaeróbio:

d.2.7 - Produção de lodo anaeróbio excedente gerado no reator UASB.

$$\text{Produção de lodo anaeróbio } (P_x) = Y \times \text{Carga de DBO}_{\text{afluente}} \quad (12)$$

A quantidade de lodo a ser retirada do reator UASB será: (lodo anaeróbio + lodo aeróbio estabilizado) sendo assim teremos:

d.2.8 - Produção total de lodo no sistema UASB + LAC.

$$\text{Produção total de lodo (UASB + LAC)} = \text{Produção de lodo anaeróbio} + \text{Produção de lodo aeróbio} \quad (13)$$

Para os cálculos da produção e volume de lodo de Reator UASB + lodos ativados convencional podem ser utilizados os parâmetros da Tabela 8:

Tabela 8 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto para reatores UASB seguidos lodos ativados. Continua

Parâmetro	Faixa
Concentração de DBO no esgoto bruto	350 a 600 mg/L
Eficiência de remoção de DBO no reator UASB	70%
Relação de SSVTA/SSTA para tanque de aeração	0,75 -0,77
Sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração: SSVTA = X	1100 a 1500 mg/L
Coeficiente de produção de lodo aeróbio (Y)	0,55 a 0,70 KgSS/KgDBO
Percentual de remoção de SSV no lodo aeróbio recirculado	30 a 45%
Coeficiente de produção de lodo aplicado ao reator UASB (Y)	0,30 KgSS/KgDQO

	Conclusão
Concentração de lodo misto (aeróbio+anaeróbio) retirado do UASB (%)	3 a 4%
Massa Específica do lodo	1000 Kg/m <sup>3</sup>
Tempo de descarte de lodo	365d (1 ano)

Fonte: Von Sperling (2005)

**e) A produção de lodo em Reatores anaeróbios manta de lodo seguido processo de flotação.**

No sistema UASB + flotação por ar dissolvido há produção de lodo tanto no reator UASB quanto no sistema de flotação por ar dissolvido. No sistema de flotação foi considerado que ele é formado por tanque de mistura rápida/coagulação do efluente dos reatores UASB, tanque de floculação, tanque de pressurização, bomba de recirculação (pressurização do efluente clarificado), tanques de flotação e tanques de recebimento do lodo dos flotadores.

Para calcular a produção de lodo do reator UASB foi utilizada as equações já comentadas anteriormente no item 1, sugerida por Von Sperling; Gonçalves (2007) como podemos verificar abaixo.

e.1) Carga de DQO (Demanda Química de Oxigênio) aplicada ao reator UASB.

$$Carga\ DQO_{aplicada}\ (KgSS/d) = Concentração\ de\ DQO_{afluente} \times Q_{esgoto} \quad (14)$$

e.2) Produção de lodo do Reator UASB.

$$Produção\ de\ lodo\ (KgSS/d) = Y \times Carga\ de\ DQO_{afluente} \quad (15)$$

A produção de lodo do sistema de flotação é a carga de SS proveniente do reator UASB mais a produção de lodo químico.

Como o afluente do sistema de flotação é o efluente do reator UASB, considera-se que a carga SS sofreu remoção 70% no reator UASB. Sendo assim a carga SS afluente ao sistema de flotação é calculada pela equação ( 16 ):

$$\text{Carga SS}_{\text{afluente da Flotação}} = \text{Carga SS}_{\text{esg.bruto}} \times (1 - \text{eficiência} ) \quad ( 16 )$$

A produção de lodo químico ocorre devido à adição de um coagulante químico no tratamento. De acordo com Aisse et al. (2001), para que o tratamento por flotação tenha sucesso e necessário além da presença de microbolhas de ar seja promovido a coagulação química e a floculação das partículas dispersas na água. Os coagulantes mais comuns são sais de ferro ou de alumínio, cal e polímeros orgânicos sintéticos.

De acordo ainda com Aisse et al. (2001), para calcular a produção de lodo químico, deve-se levar consideração o tipo de coagulante utilizado no tratamento e quantidade utilizada para cada litro de água. Se por exemplo for considerada a utilização 67 mg/L de cloreto férrico comercial ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , com 90% pureza), que corresponde a 0,0323 KgSS/m<sup>3</sup>. Esse valor é multiplicado pela vazão de esgoto para obtenção do total de lodo químico. Então a produção de lodo do sistema de flotação ar dissolvido é calculada de acordo com a Equação ( 17 ):

e.3) Produção de lodo sistema de flotado por ar dissolvido.

$$\text{Pr odução de lodo do Sist. Flotação} = \text{C arg a SS esg. bruto} \times (1 - \text{eficiência} ) + \text{Produção de lodo Quimico} \quad ( 17 )$$

No cálculo do volume de lodo gerado no sistema reator UASB seguido flotação por ar dissolvido podem ser utilizadas os seguintes parâmetros relacionados na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto em sistemas de reator UASB seguindo de flotação por ar dissolvido.

<b>Parâmetro</b>	<b>Faixa</b>
<b>Reator UASB (Von Sperling e Gonçalves, 2007)</b>	
Concentração de DQO <sub>afluente</sub>	450 a 800 mg/L
Coeficiente de produção de sólidos (Y)	0,10 a 0,20 KgSS/KgDQO <sub>aplicada</sub>
Teor de sólidos	3 a 6''%
Massa específica do lodo	1020 a 1030%
<b>Flotação por ar dissolvido (Aisse et al., 2001)</b>	
Dosagem de coagulante utilizada FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O, com 90% pureza	0,067 kg/m <sup>3</sup> *
Total de lodo químico formado para 1 m <sup>3</sup>	0,0323 kgSS/d
Teor de sólidos secos	3,5 %
Massa específica do lodo de flotação	1035 Kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Aisse et al. (2001) e Von Sperling e Gonçalves (2007).

É importante lembrar que o volume gerado no sistema UASB + FAD é a soma volumes de lodos produzidos em cada um dos tratamentos do sistema (Reator UASB e no sistema de flotação por ar dissolvido) (Equação 18).

e.4) Volume do sistema UASB + Flotação por ar dissolvido.

$$\text{Volume de Lodo UASB + FAD} = \text{Volume de Lodo Sistema UASB} + \text{Volume de Lodo Sistema FAD} \quad (18)$$

#### f) Produção volumétrica de lodo bruto da Lagoa Aerada Facultativa (LAF).

Para o cálculo da produção de lodo de lagoas aeradas facultativas foi necessário determinar carga de DQO aplicada ao sistema. A equação é a mesma utilizada no tratamento UASB já citada anteriormente no item 1, conforme podemos verificar abaixo:

As equações e parâmetros foram sugeridos por Von Sperling; Gonçalves, 2007.

f.1) Carga de DQO (demanda química de oxigênio) aplicada ao reator UASB.

$$Carga\ de\ DQO_{aplicada}\ (KgSS/d) = Concentração\ de\ DQO_{afluente} \times Q_{esgoto} \quad (19)$$

f.2) Produção de lodo do Reator UASB.

$$Produção\ de\ lodo\ (KgSS/d) = Y \times Carga\ de\ DQO_{afluente} \quad (20)$$

Entretanto, o teor de sólidos para as lagoas aeradas facultativas estão na faixa de 6 % a 10 % e a massa específica como o sistema e completamente anaeróbio e 1005 a 1025. Na Tabela 10 são mostrados os parâmetros e valores que podem ser utilizados.

Tabela 10 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo bruto de lagoas aeradas facultativas.

Parâmetro	Faixa
Concentração de DQO <sub>afluente</sub>	450 a 800 mg/L
Coefficiente de produção de sólidos (Y)	0,10 a 0,20 KgSS/KgDQO <sub>aplicada</sub>
Teor de sólidos	6% a 10%
Massa Específica do lodo	1005 a 1025 Kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Von Sperling e Gonçalves (2007).

### g) Lodos ativados convencional (LAC).

Para os sistemas de lodos ativados convencionais é necessário calcular a produção de lodo primário e secundário, já que esse tipo de sistema tem como parte integrante o decantador primário, o qual produz lodo primário. O decantador é utilizado para que seja retirada parte da matéria orgânica em suspensão, sedimentável, para se economizar energia para aeração e reduzir o volume do reator biológico ( VON SPERLING, 2005). É importante ressaltar que no caso dos sistemas de lodos ativados convencional a produção volumétrica de lodo e a soma lodo primário e secundário.

Para o cálculo da produção de lodo primário foi necessário determinar carga de SS afluente Equação (21). Na Tabela 11 são mostrados os parâmetros que são utilizados nos cálculos da produção de lodo e do volume de lodo primário (VON SPERLING; GONÇALVES, 2007).

#### g.1) Carga de SS afluente

$$\text{Carga de SS}_{\text{afluente}} = (Q \times \text{Concentração de SS}_{\text{afluente}}) / 1000 \quad (21)$$

#### g.2) Carga de SS removida do decantador primário.

$$\text{Carga de SS}_{\text{removida}} = E \times \text{Carga de SS}_{\text{afluente}} \quad (22)$$

Tabela 11 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção e do volume de lodo primário em tratamentos de lodos ativados convencional.

Parâmetros	
Concentração de SS	200 a 450 mg/L
Teor de sólidos	2 a 6%
Massa específica 1020 a 1030	1020 a 1030 Kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Von sperling e Gonçalves (2007).

Para cálculo da produção de lodo secundário foi necessário a determinação dos seguintes parâmetros: Coeficiente de produção ajustado para compensar a perda pela respiração endógena Equação (23), DBO solúvel efluente Equação (24), DBO particulada equação (25), DBO solúvel equação (26), para em seguida calcular a produção de lodo esperada, Equação (27) e (28), Nesses cálculos foram utilizadas os valores da Tabela 12 e as equações descritas abaixo: (JORDÃO;PESSOA, 2005).

Tabela 12 – Valores adotados para o cálculo da produção de lodo secundário em tratamentos de lodos ativados convencional.

<b>Parâmetro</b>	<b>Faixa ou Valor</b>
DBO afluente ao tanque de aeração (So)	350 a 600 mg/L
DBO efluente desejado	< 25
SST efluente desejado	< 30
coeficiente de produção (Y )	0,4 a 0,5
coeficiente de auto - oxidação (Kd )	0,05 a 0,10
idade do lodo $\theta_c$ processo convencional	4 a 15 dias
Relação de SSV/SST afluente ao TA	0,75
Teor de sólidos	0,8 %
Massa Específica do lodo	1000

Fonte: Jordão e Pessoa (2005).

g.3) Coeficiente de produção ajustado.

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d \theta_c} \quad (23)$$

g.4) DBO solúvel efluente.

$$DBO_{eff} = DBO_{part} + DBO_{sol} \quad (24)$$

g.5) DBO particulada.

$$DBO_{part} = SST_{efluente} \times \text{relação DBO / SST} \quad (25)$$

g.6) DBO solúvel (Se).

$$DBO_{sol} = DBO_{efl} - DBO_{part} \quad (26)$$

g.7) Calculo da produção de lodo esperada

Para o cálculo de lodo esperada foi necessário primeiro achar o valor de  $\Delta X$  e depois dividir esse pela relação de SSV/SST afluente ao tanque de aeração.

$$\Delta X = Y_{obs} \times (S_o - S_e) \times Q \quad (27)$$

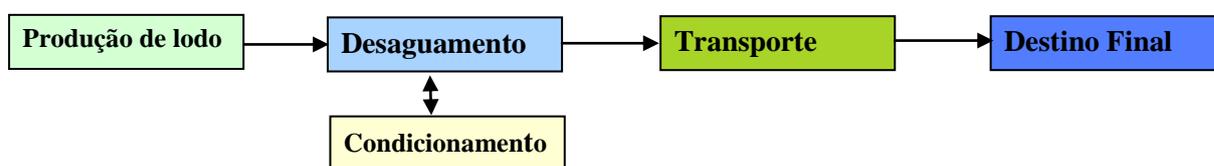
$$\Delta X_T = \frac{\Delta X}{(\text{relação SSV} / SST_{afluente ao tanque})} \quad (28)$$

$\Delta X_t$  e a carga SS ou produção de lodo gerada no sistema lodos ativados convencional.

No calculo do volume de lodo foi considerado que massa de lodo a ser descartada e igual a gerada.

### 3.3 DESAGUAMENTO E REMOÇÃO DE UMIDADE.

O lodo produzido nos tanques sépticos e nas ETE's antes de serem levados ao aterro sanitário devem ser condicionados, desaguados e transportados adequadamente até seu destino final. Jordão e Pessoa (2005) comentam que a escolha do destino final envolve estudos e decisões relativas ao condicionamento e estabilização do lodo gerado, grau de desaguamento, formas de transporte, eventuais impactos e riscos ambientais, e aspectos econômicos desta destinação.



Fluxograma 2 – Fases do gerenciamento do lodo.  
Fonte: Von Sperling e Gonçalves (2007).

As etapas condicionamento e desaguamento são importantes, pois diminuem o teor de umidade e aumentam concentração de sólidos do lodo fazendo com que os custos com transporte e com disposição final sejam reduzidos.

#### 3.3.1 Condicionamento do lodo de esgoto

O condicionamento é a etapa do gerenciamento do lodo que destinada à preparação do lodo para desaguamento melhorando assim sua eficiência que antecede o desaguamento.

De acordo com Von Sperling (2006) antes do desaguamento é importante submeter o lodo a etapa prévia de condicionamento, para aumentar a aptidão desse lodo ao desaguamento e a captura de sólidos (sólidos incorporados ao lodo).

Para Tsutyia et al. (2001a), este condicionamento pode ser feito pela adição de produtos químicos inorgânicos e orgânicos ou uma combinação entre os dois. Os produtos químicos inorgânicos mais usados são os férricos, ferrosos e de

alumínio e óxido ou hidróxido de cálcio. Já os produtos químicos orgânicos normalmente utilizados são os do grupo de polieletrólitos orgânicos-polímeros.

O processo é composto por uma etapa de coagulação seguida de outra de floculação. Na coagulação há desestabilização das partículas por meio da diminuição das forças eletrostáticas de repulsão entre elas. E depois ocorre floculação a qual permite a aglomeração dos colóides e dos sólidos finos, por meio de baixos gradientes de agitação, formando flocos (FERREIRA; NISHIYAMA, 2003).

### **3.3.2 Desaguamento do lodo de esgoto**

O desaguamento do lodo tem a finalidade de reduzir a umidade do lodo, podendo ser realizado de modo natural ou mecânico. Gutierrez e Machado (2003) comentam que a seleção do processo de desaguamento deve considerar, principalmente, o tipo de lodo, a quantidade de lodo, e a área disponível.

Além disso, Von Sperling (2006) comenta que o lodo digerido tem impacto importante nos custos com transporte e destino final do lodo. Esse autor diz que as principais razões para o desaguamento do lodo de esgoto são: redução do custo de transporte para o local de disposição final, melhoria nas condições de manejo do lodo, aumento do poder calorífico do lodo pela redução da umidade do lodo e a redução do volume para disposição em aterros ou reúso na agricultura e diminuição de lixiviados quando da sua disposição em aterros sanitários.

De acordo com Gonçalves, Ludovice e Von sperling (2007), no desaguamento natural ocorre remoção da umidade pelos processos evaporação e a percolação. Esses processos naturais são simples e baratos e necessitam de grandes áreas, volumes para instalação e demanda tempo de exposição. Os sistemas de desaguamento naturais mais comuns são leitos de secagem e lagoas de secagem de lodo.

O leito de secagem é um dos sistemas mais antigos usados para desaguamento de lodo, sendo empregado normalmente em comunidades de pequeno e médio porte (TSUTIYA et al., 2001a).

Os leitos possuem as seguintes partes: tanques de armazenamento, camada drenante (camada suporte, meio filtrante) e sistema de drenagem. Esses tanques geralmente têm formato retangulares e são construídas em alvenaria, concreto ou terra podendo ser cobertos com telhas transparentes, entretanto geralmente ficam ao ar livre ( JORDÃO; PESSOA, 2005) como na Figura 2.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12209 (1992), o meio filtrante deve ser composto de 4 camadas de agregados de granulometrias diferentes (Figura 2) arrumados do fundo até a superfície de maneira decrescente.

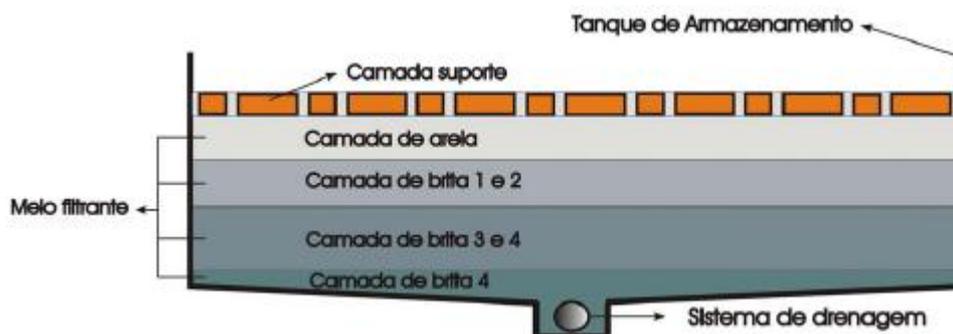


Figura 2 – Configurações dos leitos de secagem segundo a NBR 12209 (1992).  
Fonte: Ferreira e Nishiyama (2003).

Os lodos removidos dos leitos de secagem apresentam em média um teor de 40% a 75% de sólidos, sendo que este percentual depende do clima e do período de secagem (FERREIRA; ANDREOLI; JÜRGENSEN, 1999). O leito somente poderá ser usado quando não houver mais lodo seco.

As lagoas de secagem são similares aos leitos de secagem na finalidade e funcionamento, entretanto, não há nesse sistema percolação de água. Sendo assim, parte da água é retirada e o restante sofre evaporação. Em geral, a construção deste processo é simples e a secagem é mais lenta que nos leitos (AISSE et al., 1999).

Os mecanismos de desaguamento mecânicos mais utilizados são: centrífugas, filtro a vácuo, prensas desaguadoras e filtros prensa. Essas unidades utilizam para acelerar desaguamento do lodo mecanismos de filtração, compactação ou centrifugação, por meio de equipamentos compactos, sofisticados e que ocupam pequenas áreas quando comparadas aos processos naturais (GONÇALVES; LUDUVINCE; VON SPERLING, 2007).

A desvantagem desses equipamentos é que necessitam de energia elétrica e produtos químicos, tornando assim o custo operacional elevado, entretanto, a secagem do lodo é realizada em intervalos de horas.

De acordo com Gutierrez e Machado (2003), os sistemas mecânicos são mais utilizados quando não há disponibilidade de área para utilização de sistemas naturais, as condições climáticas desfavoráveis ou e grande o volume produzido de lodo.

### **3.3.3 Cálculo volume de lodo desaguado de TS e ETEs.**

O volume de lodo desaguado dos sistemas individuais (TS) é calculado da equação  $VL_{TS\ des.} = \text{Volume per capto de lodo desaguado} \times \text{população atendida}$ . A produção volumétrica per capta é de 0,05-0,10 (L/hab.d), conforme recomendações de (VON SPERLING; GONÇALVES, 2007).

Já o volume de lodo dos sistemas coletivos tratamento (estações de tratamento de esgoto) é calculado pela equação ( 29 ) sugerida por (VON SPERLING; GONÇALVES, 2007).

1. Volume de lodo desaguado.

$$\text{Volume de Lodo} = \frac{\text{Captura de Sólidos} \times \text{Produção de Lodo}}{\text{Sól.sec os(\%)} \times \text{Massa específica de lodo (Kg lodo / m lodo)}} \quad ( 29 )$$

Vale lembrar que a produção de lodo é mesma encontrada para o cálculo de lodo bruto, entretanto deve-se multiplicar pelo percentual de captura de sólidos correspondente ao tipo de desaguamento, para leito de secagem esse valor é 90 a 98%. Além disso, o teor de sólidos secos e massa específica são diferentes dos utilizados para lodo bruto, como podemos ver nos itens abaixo. Para o cálculo do lodo desaguado por leito de secagem, foi levado em consideração os itens descritos abaixo e foram adotados os parâmetros da Tabela 13.

1. De acordo com Von Sperling e Gonçalves (2007) o lodo excedente do reator UASB deve ser somente desaguado antes de ser levado a disposição final, já que se encontra digerido e adensado .
2. No caso dos lodos produzidos no sistema de reatores UASB seguido de lodos ativados convencional, o lodo do tanque de aeração deve ser recirculado para reator UASB para que seja digerido e adensado antes de ser levado ao desaguamento (Von sperling, 2005).
3. O lodo das lagoas aeradas facultativas apesar de ser predominantemente aeróbio deve ser somente desaguado antes de ser levado a disposição final, já que se encontra digerido (Von sperling, 1996).
4. O lodo excedente do sistema UASB seguido flotação por ar dissolvido deve também ser somente desaguado antes de ser levado a disposição final, já que se

encontra digerido e adensado (VON SPERLING E GONÇALVES; 2007) e (AISSE et al.; 2001).

5. No caso dos sistemas de lodos ativados como o lodo ainda não esta estabilizado, esse deve ser adensado e digerido para remoção da matéria orgânica e redução de sólidos voláteis, para em seguida ser desaguado (VON SPERLING E GONÇALVES; 2007).

Tabela 13 – Parâmetros utilizados para o cálculo do volume de lodo desaguado.

Parâmetros utilizados	Tipo de tratamento				
	UASB	UASB+LAC	UASB+LAF	LAF	LAC
	Faixa	Faixa	Faixa	Faixa	Faixa
Conc. SS no lodo desidratado	30 a 45%	30 a 45%	30 a 45%	30 a 40%	30 a 40%
Massa Específica do lodo	1050 a 1080	1050 a 1080	1050 a 1080	1050 a 1080	1050 a 1080
Captura de sólidos no desaguamento	90 a 98%	90 a 98%	90 a 98%	90 a 98%	90 a 98%

Fonte: Von sperling e Gonçalves (2007).

### 3. 4 TRANSPORTE DO LODO DE ESGOTO

O transporte do lodo pode ser feito de acordo com Jordão e Pessoa (2005), por meio rodoviário, ferroviário, barcaça e dutos. O uso de caminhões apresenta-se como o mais vantajoso por ter maior flexibilidade principalmente na operação de descarga e aplicação do lodo no solo, entretanto podem trazer impactos ambientais devido às passagens nas vias urbanas além de custo elevado.

O transporte ferroviário é mais utilizado para grandes distâncias, já as barcaças são utilizadas para disposição oceânica, porém este tipo de disposição foi banido em alguns países, no caso das tubulações os impactos ambientais são pequenos ao longo do percurso e custo operacional menor, mas requerem inversão de capital.

Esses autores comentam que existem alguns fatores que influenciam diretamente no custo do transporte como: características do lodo, teor de sólidos, volume do lodo, o peso úmido, as distâncias, as diferenças de altitudes, as características da rota do transporte, as facilidades das estradas, os inconvenientes das passagens por via urbanas, os terrenos para passagem das tubulações, os impactos ambientais, etc.

Segundo Canziani et al. (1999), em sua análise econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE Belém-PR, os principais gastos são com tratamento e o transporte de lodo até o local de disposição final.

Esses autores comentam que deve ser levado em consideração na hora de verificamos o custo com transporte o tipo de veículo, distância percorrida pelo veículo do local de geração até seu destino final, condições da estrada e tipo de produto. Na pesquisa sobre análise econômica para reciclagem agrícola realizada na ETE Belém, verificou-se que transporte de lodo da ETE Belém até os municípios de Fazenda do Rio Grande, Araucária e Balsa Nova correspondem, respectivamente, a um custo de R\$ 5,00/tonelada, R\$ 6,00/tonelada e R\$ 10,00/tonelada.

Para Ferreira, Andreoli e Lara (1999), as principais variáveis que devem ser levar em consideração são: o teor de sólidos (umidade), o número de operações de carregamento/descarregamento e o custo com o veículo. Esse transporte pode ser feito a granel ou ensacado.

A Resolução CONAMA N° 375, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de estação de tratamento de esgoto, faz algumas recomendações quanto ao transporte do lodo de esgoto:

1. O lodo de esgoto ou produto derivado somente deverá ser carregado e retirado da ETE ou UGL (Unidade de Gerenciamento de Lodo) mediante a apresentação pelo motorista do caminhão, do termo de responsabilidade e do formulário de controle de retirada.
2. O motorista deve estar devidamente cadastrado e credenciado na empresa geradora do lodo de esgoto ou produto derivado.
3. Para o transporte adequado do lodo deverão ser utilizados caminhões com carrocerias totalmente vedadas, como os caminhões basculantes conforme mostrado na \_Fotografia 2, o qual deve ser equipado com: sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira, lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e um par de luvas de látex.



Fotografia 2 – Caminhão basculante com lodo  
Fonte: Rizzo (2006).

4. É proibido que altura da carga ultrapassando a altura da carroceria (coroamento nos caminhões).
5. Os caminhões devem possuir algum tipo de sistema de comunicação para uso imediato em caso de ocorrência de acidente de trânsito.
6. Em caso de acidente com o veículo transportador do lodo em vias públicas, em que ocorra derramamento de lodo de esgoto, todos os procedimentos para limpeza são de responsabilidade da empresa transportadora do lodo de esgoto ou produto derivado.
7. Todos trabalhadores em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado deverão sempre utilizar luvas de proteção plásticas ou de couro, calçado adequado como sapatos ou botas de couro ou plástico, sendo proibido o uso de sandálias e outros calçados abertos.
8. Ao término dos serviços os trabalhadores devem lavar com água e sabão as luvas, os calçados e as mãos.
9. Na saída dos caminhões da ETE ou UGL, deverá ser observada a limpeza dos pneus.

Como pode ser verificado, o lodo é um material com características potencialmente perigosas, devendo assim ser adequadamente disposto.

Faustino et al. (2005), concluem em seu estudo, que a gestão de lodo é uma solução imprescindível para as ETEs. E no planejamento deve ser considerado um conjunto de informações tais como: estimativa de produção, avaliação da qualidade, aptidão das áreas de aplicação, organização e operação da distribuição, alternativas de higienização, adequações necessárias à ETE e monitoramento ambiental. Para que possa oferecer um insumo de boa qualidade para a agricultura, com garantia de segurança sanitária e ambiental.

Em relação ao transporte de lodo os mesmos autores dizem que a estratégia de comercializar lodo de esgoto tratado (notadamente, em termos de transporte e distribuição) certamente minimizará o custo total de disposição final.

### 3.5 DESTINO FINAL

O lodo das unidades individuais e dos sistemas coletivos de tratamento de esgoto quando em excesso, devem ser descartados, para em seguida receber destinação final segura e adequada em razão das implicações sanitárias e possíveis impactos ambientais (CASSINI;VAZOLLER;PINTO, 2003).

Existem várias formas de aproveitamento e de disposição do lodo de esgoto, como: aterro sanitário, landfarming, a incineração, uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético), recuperação de solos (recuperação de área degradada e mineração), e reuso industrial: produção de agregado leve, fabricação de tijolo e cerâmicas e produção de cimento. Entretanto, em muitas cidades quando não é possível realizar incineração ou reaproveitar o lodo, neste caso, normalmente este resíduo é levado ao aterro sanitário.

Leite, Schalch, Castro (2004) ressaltam ainda que métodos como incineração, compostagem etc, não descartam a existência de aterros sanitários, uma vez que, esses sistemas produzem rejeitos que não são aproveitáveis e devem ser encaminhados ao aterro sanitário.

O aterro e a técnica mais usual em nosso meio (BARROS; MÖLLER; 2003). Os principais resíduos depositados no aterro são domésticos, comércio e serviço de saúde, entretanto, este último deve ser colocado em uma célula especial (LOPES et al., 2002). Esta técnica de disposição está sendo muito utilizada para disposição de lodo devido a sua relativa simplicidade de execução, o seu baixo custo, entretanto, alguns cuidados devem ser tomados para disposição como remoção de umidade e verificar seu potencial de contaminação.

### **3.5.1 Aterro sanitário como destino final de lodo de esgoto.**

Existem duas formas de disposição utilizadas para resíduos sólidos domiciliares em aterros, que são: aterros controlados e sanitários. De acordo com a Associação de Normas Técnicas nas normas NBR 8849 de 1985 e NBR 8419 de 1992, tanto o aterro controlado quanto o sanitário são técnicas de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, visando minimizar os impactos ambientais e sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança. Esses métodos utilizam princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos com uma camada de material inerte, na conclusão de cada jornada de trabalho. Entretanto, conforme Lima (2001) a grande diferença entre os dois aterros é que o aterro controlado produz geralmente, poluição localizada, devido à falta de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas), sistema de coleta e tratamento de percolado e dispersão dos gases gerados.

Lanza e Carvalho (2006), dizem que o aterro controlado apesar de ser uma técnica mais eficaz do que os lixões, apresentam ainda, qualidade bastante inferior em relação ao aterro sanitário.

Para Lopes et al. (2002) as principais vantagens dos aterros sanitários são que esses necessitam de investimento inicial de implantação, entretanto os custos operacionais são relativamente baixos. Possuem grande flexibilidade operacional, devido acomodarem rapidamente grande quantidade de resíduos, de quantidades e tipos variáveis de lixo, possibilitando adaptação fácil de comunidade médias e grandes; recuperação de áreas degradadas e de baixo valor comercial; e como desvantagens do aterro sanitário o autor aponta a necessidade de grandes áreas, que normalmente são encontradas longe dos centros urbanos, o que aumenta o custo com transporte. A operação influenciada pelas condições meteorológicas requer material de cobertura adequado no próprio local do aterro e supervisão e controle contínuos, para evitar a deterioração de sua qualidade de operação.

Além das vantagens apontadas pela Lopes et al. (2002), os autores Leite, Schalch e Castro (2004) lembram que esse tipo de destinação dos resíduos utilizam equipamentos normalmente de terraplenagem, e que há possibilidade de

recuperação de áreas topograficamente inutilizadas; evitam a proliferação de vetores (roedores e artrópodes) e custos são inferiores quando comparados à compostagem e incineração.

E como desvantagens são citadas por Leite, Schalch e Castro (2004), a provável necessidade do transporte de resíduo a longa distância; a desvalorização imobiliária das áreas destinadas ao aterro (caso estas não necessitem de recuperação topográfica); produção de chorume, com possibilidade de contaminação do lençol freático se houver controle inadequado; longo período para estabilização do solo do aterro e a produção de ruídos e poeiras durante na fase de execução e operação.

De acordo com Lima (2001) o aterro sanitário (Fotografia 3) apesar de ser um método simples de destinação no solo dos resíduos sólidos, requer cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas desde a seleção e preparo da área até a sua operação e monitoramento.



Fotografia 3 – Vista aérea do Aterro Sanitário de Uberlândia (2006).  
Fonte: Limpebras e descartados.

Para a construção de um aterro sanitário devem ser verificados aspectos climáticos, hidrológicos, geológicos, além de aspectos sociais, econômicos e culturais, entre outros. IPT/CEMPRE (2000) no Quadro 2 destaca os seguintes critérios:

Quadro 2 – Critérios para avaliação das áreas para a instalação de aterro sanitário.

DADOS NECESSÁRIOS	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
	ADEQUADA	POSSÍVEL	NÃO - RECOMENDADA
Vida útil	Maior que 10 anos	(10 anos, a critério do órgão ambiental)	
Distância do centro de atendimento	5-20 Km		Menor que 5 Km Maior que 20 Km
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação ambiental e correlatas
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento principal
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valor da terra	Baixo	Médio	Alto
Aceitação da população e de entidades ambientais e não governamentais	Boa	Razoável	Inaceitável
Declividade do terreno	$3 \leq \text{declividade} \leq 20$	$20 \leq \text{declividade} \leq 30$	Declividade < 3 ou Declividade > 30
Distancia dos cursos d'águas (córregos rios, lagos e lagoas e oceanos, nascentes).	Maior que 200 m	Menor que 200 m, com a aprovação do órgão ambiental responsável	

Fonte: IPT/CMPRE (2000).

Para Monteiro et al., (2001), na escolha da área para implantação de aterros sanitários é necessário a análise de três critérios: econômico-financeiros, social e técnico. Nos critérios econômico-financeiros são destacados os custos com transporte, aquisição do terreno, investimento em infra-estrutura (abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefônica) e manutenção dos sistemas de drenagem. Nos critérios sociais, o aterro deve ser instalado distante de núcleos urbanos de baixa renda para

que não ocorra atração de pessoas desempregadas em busca de catação de lixo como forma de sobrevivência.

E na parte técnica a área deve atender a critérios como estar localizada em áreas rurais, agrícolas ou industriais fora da unidade de conservação ambiental; o local deverá apresentar baixa densidade populacional, sendo exigido o afastamento de 1000 m dos núcleos residenciais urbanos que possuam 200 ou mais habitantes, e posicionamento adequado em relação aos ventos dominantes, da cidade para o aterro.

A distância entre o fundo do terreno e o nível mais alto do lençol freático deve ser de acordo com a impermeabilização do terreno: no caso de aterros com impermeabilização por manta plástica sintética a distância entre manta e o lençol pode ser inferior a 1,5 m e para aterros com impermeabilização por argila a distância mínima entre a camada e o lençol e de 2,5 m e camada de impermeabilização deve ter coeficiente de permeabilidade menor que  $10^{-6}$  cm/s. O solo do terreno selecionado deve ter baixa permeabilidade, de preferência solos argilosos, argilo-siltosos ou argilo-arenosos.

As vias de acesso devem ser mantidas em boas condições de tráfego para caminhões, ao longo de todo ano. E Além disso, é importante que o acesso ao aterro não tenha rampas íngremes e nem curvas acentuadas para que não haja desgaste dos veículos.

O aterro deve possuir Infra-estrutura como energia elétrica, abastecimento de água, telefone, transporte, etc. É importante que haja jazidas de material de cobertura no terreno ou próximo a ele para a retirada de volumes de terra para recobrimento das células, revestimento das pistas de acesso e impermeabilização do solo.

Outro ponto importante é que os aterros sejam afastados do aeroporto ou aeródromo e devem respeitar a legislação em vigor.

Lopes et al. (2002), diz que os projetos de aterros sanitários devem possuir elementos essenciais de proteção ambiental e operacionais, conforme mostrado no Figura 3.

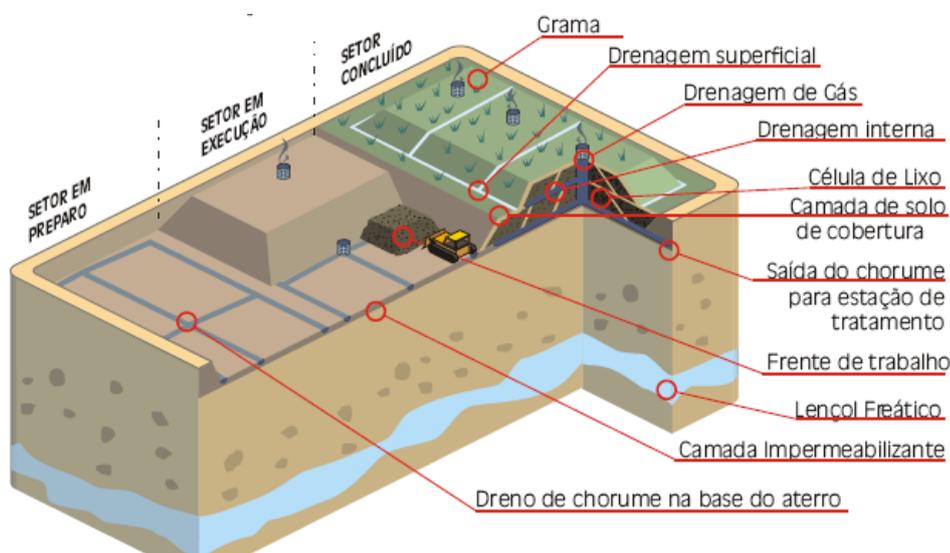


Figura 3 – Corte da seção de um aterro sanitário.  
Fonte: Purificação et al., (2007).

Lopes et al., (2002) diz que existem elementos essenciais no aterro sanitário que são:

#### 1) Sistema de impermeabilização de base e laterais.

O sistema de impermeabilização serve para proteção do solo e lençol freático. De acordo com Borges (2005) a impermeabilização é feita com uma camada de solo impermeável como uma camada de argila compactada e/ou pela aplicação de lençóis impermeabilizantes utilizando-se resinas asfáltica ou membranas plásticas, como o bidim, o hypalon e a geomembrana.

#### 2) Drenagem interna

A drenagem interna é destinada a conduzir o chorume e os gases, e à medida que as camadas de resíduos sólidos forem formadas, é necessária a construção dos drenos. A eficiência desse sistema fundamental para a estabilidade do aterro sanitário.

## 2.1) Drenagem superficial ou pluvial;

Para Leite, Schalch, Castro (2004) o sistema de drenagem superficial tem finalidade de desviar as águas da bacia para fora do aterro sanitário, diminuindo assim os líquidos percolados. O sistema é composto por canais de superfície livre a meia encosta, ou canaletas em volta de toda área de aterro.

## 2.2) Drenagem de líquidos percolados (chorume);

Os líquidos drenados são compostos de uma mistura que possui produto da fração orgânica em decomposição do lixo (conhecida como chorume), água aderida a mesma fração orgânica do lixo. Antes de serem encaminhados a um sistema de tratamento, os líquidos são coletados em um sistema de drenagem (LOPES et al.; 2002).

De acordo com Leite, Schalch e Castro (2004) o sistema de drenagem dos líquidos percolados tem a finalidade de coletar e encaminhar os líquidos até um sistema de tratamento. Borges (2005) diz que esse sistema é constituído de drenos horizontais, em forma de espinha de peixe, convergentes radiais ou de outra forma. Os drenos são formados por valas escavadas por retro-escavadeira, preenchidos com brita nº3 ou 4 e revestido com material sintético (bidim) ou capim seco como podemos verificar na Figura 4. Além desses materiais o autor sugere a utilização de folhas de coqueiro.

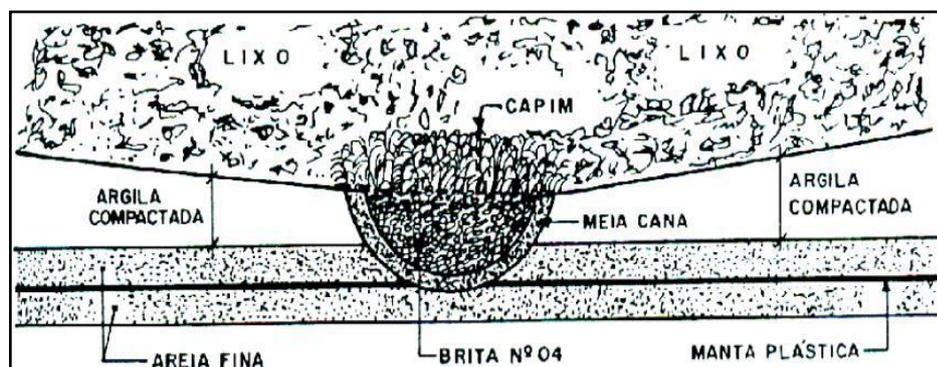


Figura 4 - Corte transversal de um dreno horizontal  
Fonte: Valente apud Leite, Schalch, Castro (2004).

Segundo o mesmo autor os drenos não devem ter declividade inferior a 1%. A profundidade dos drenos depende do número de camadas lixo/terra previstos no projeto, mas normalmente para aterros de pequeno porte a vala tem 60 x 60 cm enchidas com brita até a altura de 45 cm.

Lopes et al. (2002) diz que os principais tratamentos utilizados no tratamento dos líquidos drenados são:

- sistemas de lagoas de estabilização;
- filtro biológicos (anaeróbios e aeróbios);
- valos de oxidação;
- pré-tratamento e recirculação
- processo físico-químico;
- processo misto;
- sistema de monitoramento (ambiental, topográfico e geotécnico).

### 3) Drenagem de gases;

Lopes et al. (2002) dizem também que no processo de decomposição dos resíduos sólidos confinados nas células em aterros sanitários há produção de 40% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e 60% metano ( $\text{CH}_4$ ), que é inflamável quando em contato com ar, o que pode provocar explosões no local e asfixia em ambientes fechados.

Para esse mesmo autor essa produção de gases faz com que haja necessidade de drenar os gases, por meio de drenos verticais. O que evitará riscos ambientais e perigos ao pessoal da operação do aterro. Esses drenos devem ser dispostos na vertical sobre rede de drenagem de líquidos percolados e dispostos em diversos pontos da célula do aterro a uma distância de 30 a 50 metros.

Segundo Mansur e Monteiro (2004) destacam três formas mais usuais de se construir drenos verticais (Figura 5), que devem ser instalados em diversos pontos do aterro, são:

- utilizando-se um tubo guia dentro do qual são colocadas pedras britadas n°s 3 e 4 (ou pedras de mão de até 10 cm), com o tubo sendo elevado à medida que se aumenta a cota do aterro;
- utilizando-se tubos perfurados de concreto com diâmetro de 0,5 ou 1 metro , que vão sendo sobrepostos conforme a elevação da cota do aterro;
- utilizando-se uma fôrma feita de tela, onde se colocam pedras de mão, que vai subindo à medida que o aterro sobe.

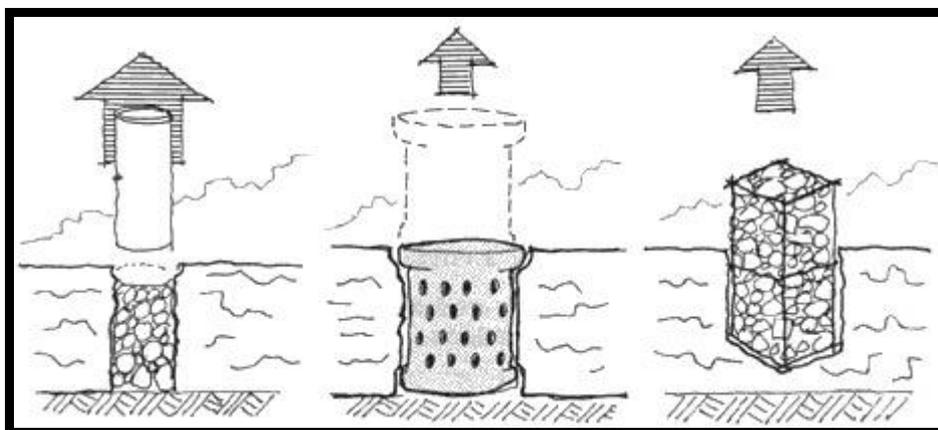


Figura 5 – Detalhe de dreno de captação de gases no aterro sanitário.

Fonte: Mansur, Monteiro (2004).

De acordo com Lanza e Carvalho (2006) esses gases devem ser queimados na extremidade do dreno para evitar que sua dispersão no aterro contamine a atmosfera e cause danos à saúde.

Segundo Lanza e Carvalho (2006) os projetos de aterros sanitários também prevêem infra-estrutura básica para desenvolvimento de suas atividades como: guarita, inspeção e controle dos caminhões que chegam a área, balança para pesagem dos coletores para controle dos volumes diários e mensais, cerca com portão para impedir acesso de pessoas estranhas e animais, cerca viva com espécie arbórea, vias de acesso externas e internas, iluminação, comunicação (telefone ou radio), abastecimento de água para instalação de apoio, instalações de apoio operacional (prédios de administração com escritório, refeitório, copa, instalações

sanitárias e vestiário e instrumentos de monitoramento ambiental (poços monitoramento de água subterrânea, e medidor de vazão, medidores de recalque).

Para Lopes et al. (2002), faz parte na infra-estrutura de controle e apoio operacional galpão de manutenção, oficina, almoxarifado e abrigo de equipamentos.

De acordo com Leite, Schalch, Castro (2004) os aterros são classificados de acordo a forma de execução, e a escolha da técnica dependem das condições do local. São classificados em aterros de superfície e em depressões.

Segundo Lima (2001) o aterro de superfície é executado em regiões planas ou em nível. Existem três formas de preparar os aterros de superfície: método das trincheiras, método das rampas e método das áreas. Os quais dependem de fatores como: disponibilidade de material de cobertura; vias de acesso que facilitam as operações de descarga; tipo de solo e dimensão da área.

Segundo Borges (2005) o método de trincheira é utilizado em terrenos planos, onde é feita escavação no solo, com largura de 10 a 30 metros e profundidade de 3 metros. De acordo com Lima (2001), o material da escavação deve ser estocado ao lado ou na cabeceira, para posterior utilização como material de recobrimento (Figura 6).

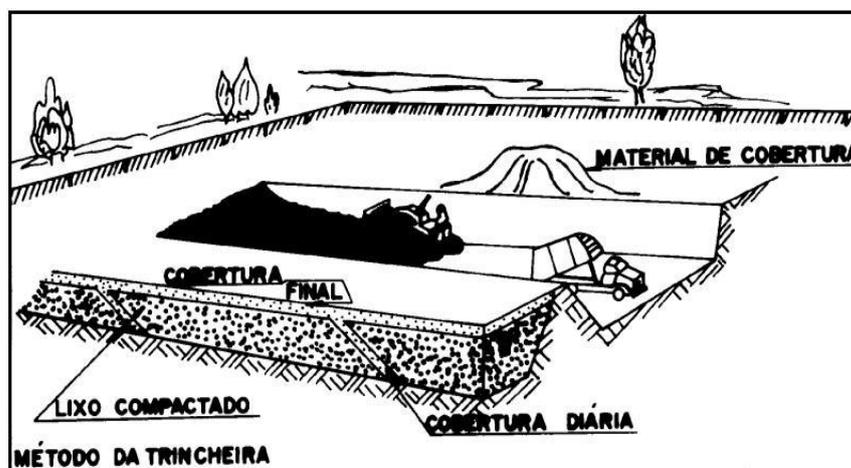


Figura 6 – Método de Trincheira.  
Fonte: Valente apud Leite, Schalch, Castro (2004).

O método de rampa (.Figura 7) aproveita taludes construídos ou naturais para compactação dos resíduos e o material de cobertura e retirado antes na própria frente de trabalho (BORGUES; 2005). Para Mansur e Monteiro (2004), neste método, o material de cobertura e escavado do solo situado atrás da célula de lixo, formando assim uma depressão e um novo talude para formação de uma nova célula o que ocorrerá progressivamente.

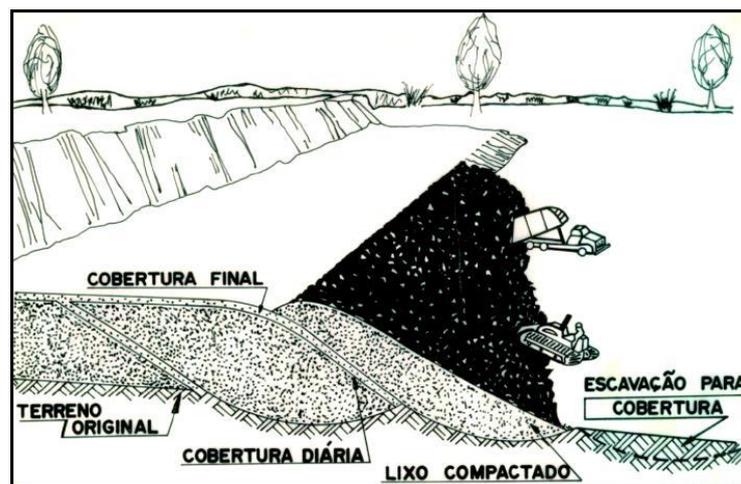


Figura 7 – Método de Rampa.  
Fonte: Valente apud Leite, Schalch, Castro (2004).

É o método da área (.Figura 8) é utilizado zonas baixas, onde dificilmente a possibilidade de aproveitamento do solo local para material de cobertura. Nesse caso o material de cobertura deverá ser retirado de jazidas, localizadas o mais próximas possível do local a ser aterrado, para diminuir o custo com transporte do material dessa área até o aterro (MANSUR;MONTEIRO, 2004).

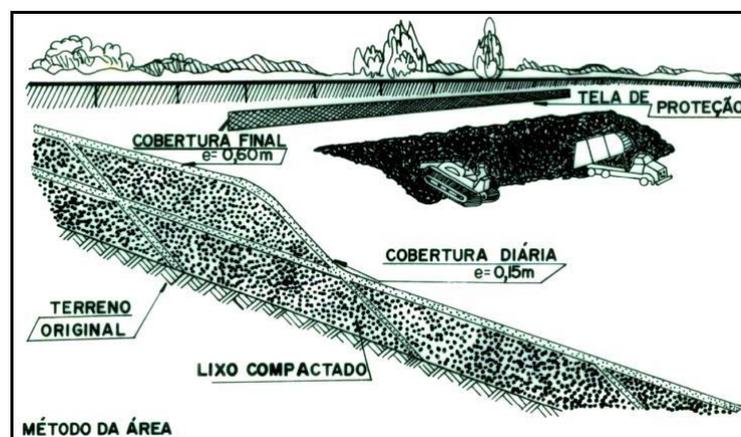


Figura 8 – Método de Área.  
Fonte: Valente apud Leite, Schalch, Castro (2004).

Os aterros de depressão são executados em regiões de topografia acidentada tais como: grotas, fundo de vales, lagoas resultantes de escavações para extração mineral (areia e argila de olaria), pedreiras extintas etc. Conforme e ilustrado nas Figura 9 e Figura 10.

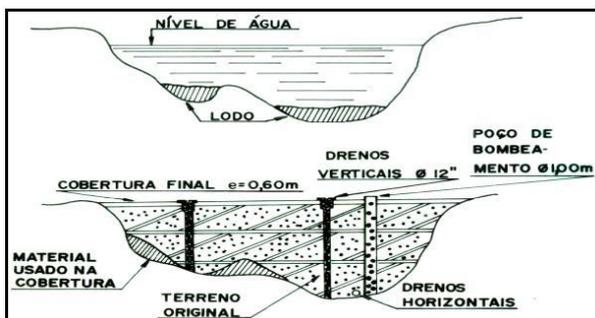


Figura 9 – Aterro em Lagoas.  
Fonte: Valente apud Leite, Schalch, Castro (2004)

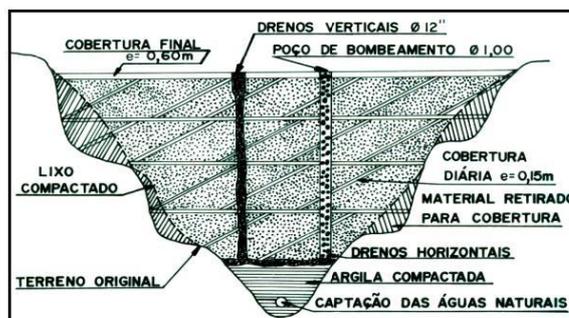


Figura 10 – Aterro em Depressões ou Ondulações.  
Fonte: Valente apud Leite, Schalch, Castro (2004).

Lopes et al. (2002) ressalta necessidade de cuidados adicionais na utilização de cavas de mineração e áreas de empréstimo, pois essas não possuem proteção natural oferecida pelo solo o que facilita, a contaminação das águas subterrâneas. Do mesmo modo, as pedreiras desativadas apresentam problemas quanto à drenagem além da falta de terra para recobrimento da célula.

Apesar de haver formas diferentes de execução, a sistemática de acondicionamento do lixo é a mesma. Para isso o caminhão deve depositar o resíduo em pilhas no solo previamente preparado, a jusante da frente de serviço. Em seguida, os resíduos devem ser espalhados e compactados com trator de esteira (peso operacional mínimo de 15 toneladas) em rampas com inclinação de 1 na vertical para 3 horizontal (1:3). A compactação deve ser de baixo para cima em movimentos repetidos de 3 a 5 vezes, o que proporcionará maior uniformidade de compactação. A altura das células formadas devem ser 2 a 4 metros.

No final de cada dia quando a coleta estiver terminado (final da jornada de trabalho) as células devem receber uma camada de terra de 15 a 30 cm de altura. A camada final de cobertura e de 60 cm de terra compactada com declividade

superficial de 0,5% a 2% o que permitirá o escoamento das águas pluviais sem que haja erosão do recobrimento.

O aterro sanitário é uma técnica de engenharia utilizado para disposição do lixo domiciliar, entretanto esta técnica pode ser utilizada para disposição de lodo de esgoto. De acordo com Ludovice e Fernandes (2007), o lodo pode ser confinado em células de duas maneiras: co-disposição com resíduos sólidos urbanos, onde o lodo é misturado com lixo (resíduo urbano) e em aterro exclusivo no qual somente será depositado lodo de esgoto, com teor de sólidos superior a 30% ou deve ser seco termicamente.

Gutierrez e Machado (2003) ressaltam que o lodo para ser confinado nas células dos aterros sanitários deve ser desaguado, para redução do volume e remoção de excesso de umidade.

Os aterros exclusivos, no plano de uso e disposição de lodo da ETEs foram apontados como sendo de fundamental importância e imprescindíveis para a disposição do lodo da Região Metropolitana São Paulo. As principais vantagens ressaltadas pelo plano para essa forma de disposição de acordo com (PROJETO..., 1998) foram:

- Capacidade de absorver lodos com características inadequados para uso benéfico;
- Capacidade de absorver volumes excedentes de lodo não utilizados em usos benéficos;
- Adequada disposição independente de quaisquer outros fatores que possam intervir no processo;
- Adequada solução para disposição de cinzas de incineração.

De acordo com Jordão e Pessoa (2005) no Brasil a co-disposição de lodo com resíduo urbano é mais comum do que em aterros exclusivos, no entanto, o teor de sólidos deve ser pelos menos 30% para não dificultar a compactação e o trabalho das máquinas no aterro.

O custo com a disposição do lodo varia de R\$ 80,00 a R\$ 130,00 reais, sendo o aterro sanitário a segunda alternativa mais viável de destino final para o lodo de esgoto como podemos verificar na Tabela 14.

Tabela 14 – Custo estimado com destina final do lodo de esgoto.

<b>Destino final</b>	<b>Custo estimado/tonelada</b>
Aterro sanitário *	80,00 a 130, 00
Incineração*	1.600,00 a 2.400,00
Co-processamento *	350,00 a 500,00
Reciclagem agrícola **	< 60,00

Fonte: Revista de Saneamento Ambiental Set/Out de 2002 apud Rizzo, (2006) - não inclui custo com o frete até a unidade de tratamento ou disposição final. \*\* varia em função da escala de geração de lodo de esgoto.

A EPA (1978) apud Bringhenti et al. (2007) aponta as principais vantagens e desvantagens da co-disposição do lodo de ETE em aterro sanitário estão descritas no Quadro 3 abaixo:

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens da co-disposição de lixo urbano e lodo em aterros sanitários.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Solução imediata para o problema da disposição final do lodo, quando já existe aterro sanitário implantado;	Pode apresentar problemas de odor, em função do grau estabilidade do lodo;
Menor impacto ambiental e social quando comparado à implantação de aterros exclusivos para lodo;	Pode ter aumento de lixiviado;
O lixo urbano pode absorve a umidade do lodo, reduzindo assim, a migração de lixiviado quando comparado a aterros exclusivos;	Precisão de implementação de rotinas de controle qualidade de lodo;
A presença de lodo nos aterros pode possibilitar a aceleração do processo de decomposição dos resíduos;	Apresentam problemas relacionados à estabilidade geotécnica dos taludes do aterro sanitário;
O lodo pode ser utilizado para a revegetação de taludes, quando misturado ao solo de cobertura;	O uso futuro da área dos aterros pode ser comprometido pelo excesso de água na massa de resíduo;
Menor custo financeiro.	Problemas operacionais.

Fonte: Bringhenti et al (2007).

Bringhenti et al. (2007) na pesquisa realizada sobre efeito da co-disposição de lixo urbano e lodo de ETEs em aterros sanitários, recomenda que sejam tomadas alguns procedimentos para garantir a estabilidade do aterro, segurança dos operadores na hora do manuseio e maior proteção ambiental como:

- Prever a realização de um programa de monitoramento da qualidade do lodo, para que sejam definidos parâmetros físicos, químicos e biológicos, capacidade do aterro para receber o lodo e critérios de operação;
- Prever rotina de controle do lodo que chega ao aterro a fim de garantir a proporção adequada de lixo\lodo nas células ao longo do dia, definidas a partir das características do lodo e do aterro;
- Na operação do aterro o lodo deve ser espalhado e misturado bem aos outros resíduos de forma a evitar bolsões de lodo;
- Dispor no aterro lodo estabilizado, para minimizar problema de odores;
- O lodo deve ser lançado nas frentes de trabalho, próximo ao terreno natural e na parte central da frente operacional, evitando-se as bordas das células no aterro.

A co-disposição de lodo tem se destacado na literatura internacional e nacional por inviabilizar e/ou remover ovos de helmintos e permitir a estabilização da matéria orgânica, resultando em um composto adequado a ser utilizado na agricultura.

Silva et al. (2007c) em sua pesquisa sobre a avaliação da remoção de ovos de helmintos em co-disposição de lodo anaeróbico e resíduo sólido orgânicos, verificou que a co-disposição revelou-se eficiente na remoção de ovos de helmintos e Silva et al. (2007b), no estudo sobre avaliação das características químicas, físicas e biológicas de lodo produzido em tanque séptico também verificou que a co-disposição de lodo com resíduo sólido é uma alternativa para tratamento do lodo além de realizar alta remoção de ovos de helmintos.

De acordo com Limpurb, (1993) apud Rocha e Shiota (1999), a disposição de lodo em aterros sanitários apresenta alguns problemas como:

- Falta de sustentabilidade em longo prazo, devido à saturação da capacidade dos aterros;
- Dificuldade de aquisição de novas áreas devido a uma série de fatores, entre eles: forte rejeição por parte da população em torno dos aterros, preço relativamente elevado das áreas existentes em torno das cidades, dificuldades em encontrar áreas que atendam às necessidades técnicas, etc;
- Necessidade de tecnologia e grau de conhecimento para se operar um aterro dentro de condições mínimas necessárias de segurança e sustentabilidade.

No Brasil a prática mais utilizada para disposição de lodo em aterro é a co-disposição em aterro sanitário de lixo urbano.

Como exemplo de co-disposição de lodo com resíduos urbanos no Brasil, podemos citar: a disposição do lodo seco das ETEs do Rio de Janeiro em aterros sanitários, já alguns anos, e em São Paulo, a ETE Suzano dispõe seu lodo no aterro sanitário da prefeitura de São Paulo (JORDÃO;PESSOA, 2005) e os lodos das ETE da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), também são dispostos conjuntamente com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

De acordo com Bringhenti et al. (2007), 100 % do lodo produzido nas principais ETE de região metropolitana de São Paulo é encaminhado pela SABESP, desde 1994, para o aterro sanitário da Prefeitura de São Paulo, e o lodo de ETE Barueri é encaminhado ao aterro sanitário de Bandeirante.

Segundo Santos e Tsutiya (1997), esta solução foi possível devido à firmação de um convênio entre SABESP e PMSP, onde o lodo das ETEs Barueri e Suzano seriam co-dispostos com resíduo urbano nos aterros de Bandeirantes e São João em troca do tratamento dos chorumes dos aterros nas ETEs.

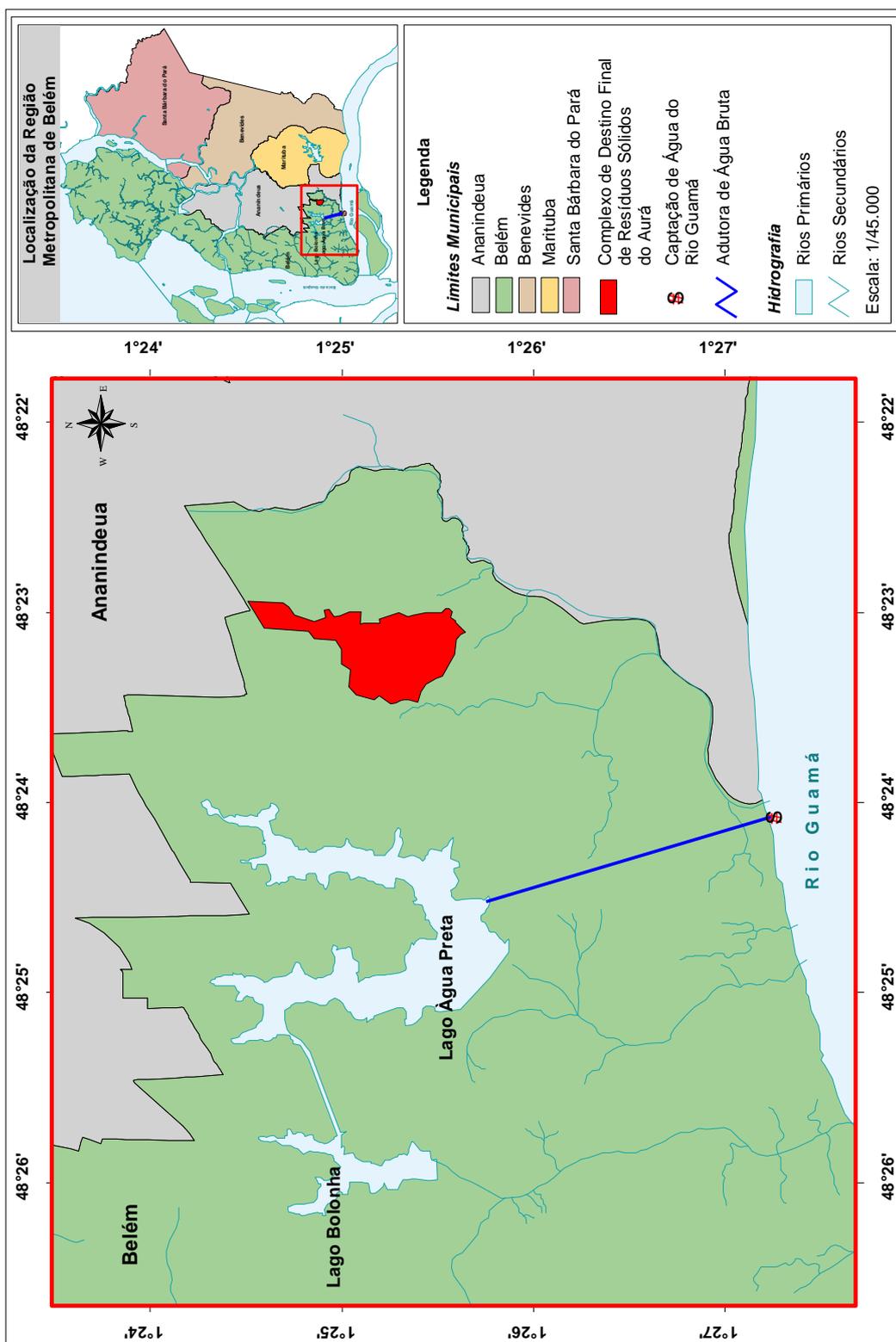
Fornari (2005) comenta que na grande Belo Horizonte, o aterro privado<sup>4</sup> de Macaúbas, chamado de Centro Tratamento Resíduos de Macaúbas (CTR macaúbas), que receberá os resíduos gerados em Sabará e outros municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte, firmou com a Copasa (empresa de saneamento de Minas Gerais), um acordo de cooperação, no qual o aterro sanitário receberá o lodo de esgoto desidratado da ETE Arrudas em troca do tratamento dos efluentes gerados no CRT Macaúbas.

---

<sup>4</sup> **Aterro Privado:** No aterro privado o gerenciamento do aterro e tratamento dos resíduos é realizado por empresas privadas.

#### **4. METODOLOGIA**

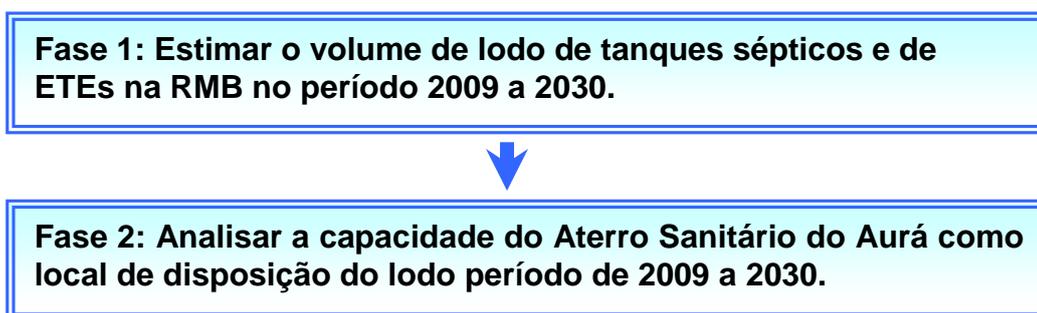
A pesquisa foi desenvolvida na Região Metropolitana de Belém, que é composta pelos municípios de Belém, Ananindeua, Benevides, Marituba e Santa Bárbara do Pará, sendo destinada a avaliação da capacidade do aterro sanitário do Aurá para recebimento de lodo de esgoto no período de 2009 a 2029. Esse aterro está localizado na periferia de Belém, na divisa com Ananindeua, distante, aproximadamente, 19 km do centro de Belém, capital do estado do Pará (CARNEIRO, 2006). No Mapa 1 é mostrada a localização do aterro sanitário do Aurá.



Mapa 1—Localização do complexo de destino final de resíduos sólidos do Aurá.

## 4.1 FASES DA PESQUISA

O trabalho foi dividido em duas fases. Na Fase I foram estimados os volumes de lodo de esgoto (bruto e desaguado) de tanques sépticos e de ETEs na RMB no período de 2009 a 2030, sendo a Fase II destinada à análise da capacidade do aterro sanitário do Aurá como local de disposição do lodo do referido período, como mostrado no Fluxograma 3.



Fluxograma 3 – Desenvolvimento das fases da pesquisa.

### 4.1.1 Fase 1: Estimar o volume de lodo de esgoto de tanques sépticos e de ETEs na RMB no período de 2009 a 2030.

Essa fase teve a finalidade de determinação do volume de lodo gerado (bruto e desaguado) em tanques sépticos e em ETEs da Região Metropolitana de Belém no período 2009 a 2030, sendo constituída de 3 etapas: 1) Volume de lodo bruto gerado em tanques sépticos; 2) Volume de lodo bruto gerado em estações de tratamento de esgoto e 3) Volume de lodo desaguado em tanques sépticos e em ETEs.

#### 1ª Etapa: Volume de lodo bruto gerado em tanques sépticos:

Nessa etapa foram levantados dados do número de tanques sépticos e calculado o volume útil de lodo de 1 tanque séptico, para então ser determinado o volume total de lodo removido de TS na RMB.

O número de tanques sépticos N em 2009 foi determinado com base nos dados da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios 2007, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007). Para os demais anos, N foi calculado dividindo por cinco habitantes a população total estabelecida pela equipe GPHS/UFPA e Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) no Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da RMB (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ; COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ, 2008), para as áreas ainda não atendidas com estações coletivas de tratamento de esgoto sanitário.

O volume útil de um tanque séptico (V lodo TS) foi calculado por meio da expressão **V lodo TS = Pop x Lf x (R<sub>DIG</sub> x T<sub>DIG</sub> + R<sub>ARM</sub> x T<sub>ARM</sub>)** (equação ( 30 )), sugerida por Andrade Neto et al. (1999), onde foi adotado:

- 1) tanque de câmaras em série atendendo 5 habitantes por tanque séptico,
- 2) contribuição de lodo fresco (Lf) 1 L/hab.d;
- 3) coeficiente de redução do volume de lodo por adensamento e destruição de sólidos na zona de digestão (R<sub>DIG</sub>) de 0,5;
- 4) tempo de digestão (T<sub>DIG</sub>) 45 dias;
- 5) coeficiente de redução do volume de lodo devido à digestão (R<sub>ARM</sub>) 0,15 e
- 6) tempo de armazenamento dos lodos digeridos (T<sub>ARM</sub>) de 320 dias.

Tendo-se o número de tanques e o volume de 1 tanque séptico, calcula-se o volume total de lodo que será gerado na RMB, por meio da equação **V total lodo = N x Volume<sub>1TS</sub>**.

## **2ª Etapa: Volume de lodo bruto gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs):**

Na segunda etapa foi calculado o volume de lodo de esgoto das ETEs, por meio da equação (31) sugerida por (VON SPERLING, GONÇALVES; 2007).

$$\text{Volume de Lodo ETE (m}^3/\text{dia)} = \frac{\text{Produção de lodo (KgSS/d)}}{\text{Sól.sec os (\%)} \times \text{Massa específica de lodo (Kg/m}^3)} \quad (31)$$

Para o cálculo do volume de lodo dessas unidades foi necessário verificar:

a) a quantidade de ETEs que existem e as que foram planejadas pelo Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém para período de 2009 a 2029, b) o tipo de tratamento utilizado, c) a população atendida, d) vazão de esgoto e c) a produção de lodo.

- **Para as estações de tratamento existentes em 2009:**

- 1) A quantidade, o tipo, a população e a vazão das ETEs existentes na RMB em 2009, foram obtidos com base em dados dos projetos executivos.

- **Para as estações de tratamento de esgoto planejadas para o período de 2010 a 2030:**

- 1) A quantidade, o tipo, a população e a vazão de esgoto das ETEs planejadas para a RMB no período de 2010 a 2030, foram obtidos com base em dados no estudo de projeção populacional do Plano Diretor de Esgotamento Sanitário na Região Metropolitana de Belém.

Para o cálculo da produção de lodo tanto das ETEs existentes quanto das ETEs planejadas, foram utilizados as expressões e parâmetros da Tabela 15. O valor da concentração de DQO e DBO usadas no cálculo da produção de lodo foi sugerido por Von Sperling (2006).

Para a estimativa do volume de lodo do período 2010 a 2030, foi adotado a divisão da RMB em bacias de esgotamento e o estudo de projeção populacional do Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém, também

foi considerado que o número de tanques sépticos diminuirá com a implantação das ETEs, proposta nesta dissertação<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup>A Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA) está analisando o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da RMB, portanto, o ano de implantação das ETEs ainda não é definitivo.

Tabela 15 – Expressões e parâmetros adotados para o cálculo do volume de lodo bruto.

Continua

Tipo de tratamento	Expressões	Parâmetros adotados	Fonte
UASB	Carga DQO = Conc.DQO x Q <sub>esgoto</sub>	Concentração DQO = 600 mg/l	Von Sperling, Gonçalves (2007).
	Produção de lodo = Carga DQO x Y	Y = 0,18 KgSS/KgDQOapli	
	Volume de lodo = Produção de lodo/(teor Sól.Sec. x ME);	Teor Sól. secos = 4,5% e M. E = 1025 kg/m <sup>3</sup>	
UASB+LAC. <sup>6</sup>	Carga DBO = Conc.DBO <sub>Esg. Bruto</sub> x (1- eficiência)	Conc. DBO Esg. bruto = 450 mg/L Eficiência = 70%	Von Sperling (2005)
	Produção (Px) = Sólidos totais = Y x carga DBO <sub>afluente</sub>	Y = 0,65 KgSS/KgDBO	
	Sólidos voláteis (Pxv) = (SSV/SS) x Px	SSV/SS = 0,75	
	Sólidos fixos (Pxf) = (1 – SSV/SS) x Px	SSV/SS = 0,75	
	<b>Lodo aeróbio digerido no reator UASB</b>		
	Sólidos voláteis (Pxv')= Pxv x (1-0,35)	Percentual de lodo de SSV no lodo aeróbio recirculado = 35%	
	Sólidos fixos (Pxf') = Pxf		
	Sólidos totais (Px') = Pxv' + Pxf'		
	<b>Produção de lodo anaeróbio</b>		
UASB+LAC. <sup>7</sup>	Px anaeróbio (Px anaeróbio) = Y x carga DBO <sub>afluente</sub>	Y = 0,30 KgSS/KgDBO	Von Sperling (2005)
	Produção total Lodo = produção Lodo aeróbio (Px') + produção Lodo anaeróbio (Px anaeróbio)	-	

<sup>6</sup> O volume de lodo do sistema UASB + LAC é soma do volume de lodo recirculado do tanque de aeração para o reator UASB mais o volume de lodo produzido no reator UASB.

<sup>7</sup> O volume de lodo do sistema UASB + LAC é soma do volume de lodo recirculado do tanque de aeração para o reator UASB mais o volume de lodo produzido no reator UASB.

Continua

	Volume de lodo = Produção total lodo / (teor Sól.Sec. x ME);	Teor sol. Sistema UASB+LAC = 3,5%	
		M. E = 1000 Kg/m <sup>3</sup>	
UASB+FAD <sup>8</sup>	Carga DQO = Conc. DQO afl. x Q <sub>esgoto</sub>	Concentração de DQO <sub>afluente</sub> = 600mg/L	Aisse et al.(2001)
	Produção de lodo UASB = Y x Carga DQO <sub>afluente</sub>	Y = 0,18 KgSST/KgDQOapl	
	Volume de lodo UASB = Produção de lodo / (teor Sól.Sec. x ME);	T. S = 4,5% e M.E = 1025 Kg/m <sup>3</sup>	
	Produção de lodo da flotação = carga SS UASB + (0,0323 x Q <sub>esg</sub> )	0,0323 KgSS/d	
	Volume de lodo FAD = Produção de lodo / (teor Sól.Sec. x ME);	T. S = 3,5% e M.E = 1035 Kg/m <sup>3</sup>	
	Volume total = Volume de lodo UASB + Volume de lodo FAD		
LAF	Carga DQO = Conc.DQO x Q <sub>esgoto</sub>	Concentração de DQO <sub>afluente</sub> = 600mg/L	Von Sperling (1996).
	Produção de lodo = Carga DQO x Y	Y = 0,18 KgSS/KgDQOapli	
	Volume de lodo = Produção de lodo/(teor Sól.Sec. x ME);	Teor Sól. secos = 8,0% e M. E = 1015 kg/m <sup>3</sup>	
LAC <sup>9</sup>	<b>Volume de Lodo Primário</b>		Jordão, Pessoa (2005) e Von Sperling, Gonçalves (2007).

<sup>8</sup> O volume de lodo do sistema UASB+FAD é calculado pela soma dos volumes dos produzidos no reator UASB mais e no sistema flotação.

<sup>9</sup> O volume de lodo do sistema lodos ativados convencional e calculado pela soma volume primário produzido decantador primário mais volume de lodo secundário produzido tanque de aeração.

Conclusão

LAC <sup>10</sup>	Carga SS = E x carga de DQO <sub>afluente</sub>	E = 60% e Conc. de DQO = 450	Jordão, Pessoa (2005) e Von Sperling, Gonçalves (2007).
	Volume de lodo = Carga SS/(teor Sól.Sec. x ME);	Teor Sól. secos = 4,5% e M. E = 1025 kg/m <sup>3</sup>	
	<b>Volume de lodo secundário</b>		
	$Y_{obs} = Y / (1 + K_d \times \Theta_c)$	Y = 0,55, K <sub>d</sub> = 0,075 e $\Theta_c$ = 7 dias	
	DBO efluente = DBO part. + DBO sol.	DBO efluente = 25 mg/L	
	DBO part. = SST efluente X relação DBO/SST	SST efluente = 30 mg/L	
		Relação de DBO/SST = 0,60	
	DBO sol. = Se = BDO efl. – DBO part.		
	Produção de lodo ( $\Delta X$ ) = Y <sub>obs</sub> x (So – Se)xQ <sub>esgoto</sub>	So = DBO afluente ao TA = 450 mg/L	
	Produção de lodo total ( $\Delta X_T$ ) = $\Delta X / (\text{relação SSV/SST}_{\text{afluente ao tanque}})$	Relação SSV/SST <sub>afl. Ao TA</sub> = 0,75	
	Volume de lodo secundário = $\Delta X_T / (\text{teor Sól.Sec. x ME});$	Teor Sól. secos = 0,8%	
M. E = 1000 kg/m <sup>3</sup>			
Volume total lodo LAC = Volume de lodo Primário + Volume de lodo secundário			

<sup>10</sup> O volume de lodo do sistema lodos ativados convencional e calculado pela soma volume primário produzido decantador primário mais volume de lodo secundário produzido tanque de aeração.

### 3ª Etapa: Volume de lodo desaguado, na RMB, no período de 2009 a 2030:

A terceira etapa teve a finalidade de determinar o volume remanescente do lodo de esgoto (tanque séptico e estação de tratamento de esgoto) após a operação de desaguamento (perda de água), ou seja, o volume efetivamente transportado para a destinação final (volume de lodo desaguado). O Volume de lodo gerado em tanques sépticos e em ETEs e desaguado em leito de secagem foram calculados por meio das equações recomendadas por Von Sperling, Gonçalves (2007) equação (32) e equação (33), respectivamente. Para o TS foi adotado a per capita de lodo desaguado 0,1 l/hab.dia sugerida por Von Sperling (2006) e para ETEs foi adotado os valores e parâmetros da Tabela 16.

- Para os tanques sépticos:

$$\text{Volume de lodo desaguado (m}^3/\text{dia)} = \text{População} \times \text{Per capita lodo desaguado} \quad (32)$$

- Para as ETEs:

$$\text{Volume de Lodo desaguado} = \frac{\text{Captura de sólidos} \times \text{carga de SS afluyente}}{\text{Concentração SS (\%)} \times \text{Massa específica de lodo (Kg/m}^3)} \quad (33)$$

Tabela 16 – Parâmetros adotados para o cálculo do volume de lodo desaguado das ETES.

<b>Configurações das ETEs</b>	<b>Captura de sólidos (%)</b>	<b>Concentração SS no LD (%)</b>	<b>Massa específica LD (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
UASB	94	40	1065
UASB + LAC	94	40	1065
UASB + FAD	94	40	1065
LAF	94	35	1065
LAC	94	35	1065

#### **4.1.2 Fase 2: Analisar a capacidade do Aterro Sanitário do Aurá como local de disposição do lodo período de 2010 a 2030.**

Na fase 3 foi avaliada a capacidade útil do Aterro Sanitário do Aurá para receber o lodo desaguado da Região Metropolitana de Belém no período 2009 a 2030. Para isso, foram verificados as áreas e volumes de células disponíveis no Aterro, bem como estimada a ocupação progressiva com lodo (Tanque séptico e ETE) na RMB. Os dados sobre o Aterro Sanitário do Aurá foram obtidos em trabalhos acadêmicos e na visita ao referido Aterro.

Na determinação do volume de resíduos sólidos foram utilizadas as informações da carga recebida atualmente, os dados de incremento populacional nos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba previstos no Plano Diretor do SES da RMB e os valores de 0,67 Kg/hab/dia per capita e de 191 Kg/m<sup>3</sup> de peso específico obtidos por Carneiro (2006) para os resíduos sólidos de Belém e Ananindeua.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 ESTIMATIVA DO VOLUME DE LODO DE ESGOTO EM TANQUES SÉPTICO E EM ETES NA RMB (2009 A 2030).

A Região Metropolitana de Belém tem 2.043.537 habitantes (conforme mostrado na Tabela 17).

Tabela 17 – População da Região Metropolitana de Belém (RMB).

<b>Município</b>	<b>População (hab)</b>
Belém	1.408.847
Ananindeua	484.278
Marituba	93.416
Benevides	43.282
Santa Bárbara do Pará	13.714
RMB	2.043.537

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, cidades (2007).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2009) no ano de 2007, 1.531.000 habitantes eram atendidos por fossas sépticas (Tabela 18) e existiam 401.000 domicílios com fossas sépticas.

Tabela 18 – Quantidade de moradores e domicílios atendidos por tanque séptico na Região Metropolitana de Belém (RMB).

<b>Esgotamento sanitário</b>	<b>Quantidade de moradores</b>	<b>Quantidade de domicílios</b>
Tinham	2.073.000	545.000
Rede coletora	262.000	72.000
<b>Tanque séptico<sup>11</sup></b>	<b>1.531.000</b>	<b>401.000</b>
Outro	280.000	72.000
Não tinham	57.000	17.000

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional por Amostragem Domicílios (2007).

<sup>11</sup> O IBGE não diferencia fossa séptica e tanque séptico, sendo o último considerado neste trabalho como construído a partir de critérios de projeto de engenharia.

Nos 401.000 domicílios com fossa séptica da RMB são produzidos cerca de 141.353 m<sup>3</sup>/ano de lodo bruto e esse lodo quando desaguado reduz seu valor para 73.183 m<sup>3</sup>/ano.

Na Região Metropolitana de Belém, além do tratamento por tanque séptico, também possui 8 estações de tratamentos de esgotos (ETEs).

Segundo Mendes e Pereira (2003), as ETEs foram construídas pela COSANPA, com recursos do programa PROSANEAR<sup>12</sup> ( ETE Sideral, ETE Coqueiro, ETE Benguí 4 e Benguí 5), do PROSEGE<sup>13</sup> (ETE Rua da Mata e ETE Tavares Bastos) e pelo SAAEB<sup>14</sup> ( ETE Pratinha, ETE Vila e ETE Aeroporto). Das ETEs instaladas algumas não estão sendo utilizadas na sua capacidade de projeto e ainda existe ETE desativada, como é o caso da ETE Benguí 5.

Essas ETEs são constituídas de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. No Quadro 4 é apresentado um resumo com a configuração das estações de tratamento de esgoto e o tipo de lodo gerado.

---

<sup>12</sup> Programa que foi implantado nos municípios de Belém e Ananindeua para construção do sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário o qual resultou na construção de 5 ETE's.

<sup>13</sup> Estes Programa foi iniciado em a partir de novembro de 1993, tendo como objetivo melhor as condições sanitárias dois bairros da Marambaia e Guanabara e proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta.

<sup>14</sup> Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém.

Quadro 4 – Configuração e o tipo de lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto existentes na RMB em 2009.

<b>CONCESSIONÁRIA/ PROGRAMA</b>	<b>ETE</b>	<b>CONFIGURAÇÃO</b>	<b>LODO GERADO</b>
COSANPA/PROSANEAR	ETE Sideral	Unidade de gradeamento; unidade de desarenação; dispositivo de medição de vazão; estação elevatória de esgoto; reator anaeróbio de manta de lodo; sistema de tratamento de biogás.	Lodo anaeróbio
	ETE Coqueiro		
	ETE Benguí 4		
COSANPA/PROSEGE	ETE Rua da Mata	Unidade de gradeamento; unidade de desarenação; dispositivo de medição de vazão; estação elevatória de esgoto; reator anaeróbio de manta de lodo e tanque de aeração.	Lodo anaeróbio e lodo aeróbio.
	ETE Tavares Bastos	Unidade de gradeamento; unidade de desarenação; dispositivo de medição de vazão; estação elevatória de esgoto; reator anaeróbio de manta de lodo, tanque de mistura rápida, unidade de flotação, sistema de flotação e sistema de desinfecção dos seus efluentes com ultravioleta (UV).	Lodo anaeróbio e lodo químico.
SAAEB	ETE Pratinha	Unidade de gradeamento; unidade de desarenação; dispositivo de medição de vazão; estação elevatória de esgoto; reator anaeróbio de manta de lodo e sistema de desinfecção dos seus efluentes com cloro.	Lodo anaeróbio
SAAEB	ETE Vila	02 Lagoas de estabilização (aeradas mecanicamente e facultativas) e sistema de desinfecção com cloro.	Lodo anaeróbio.
	ETE Aeroporto		

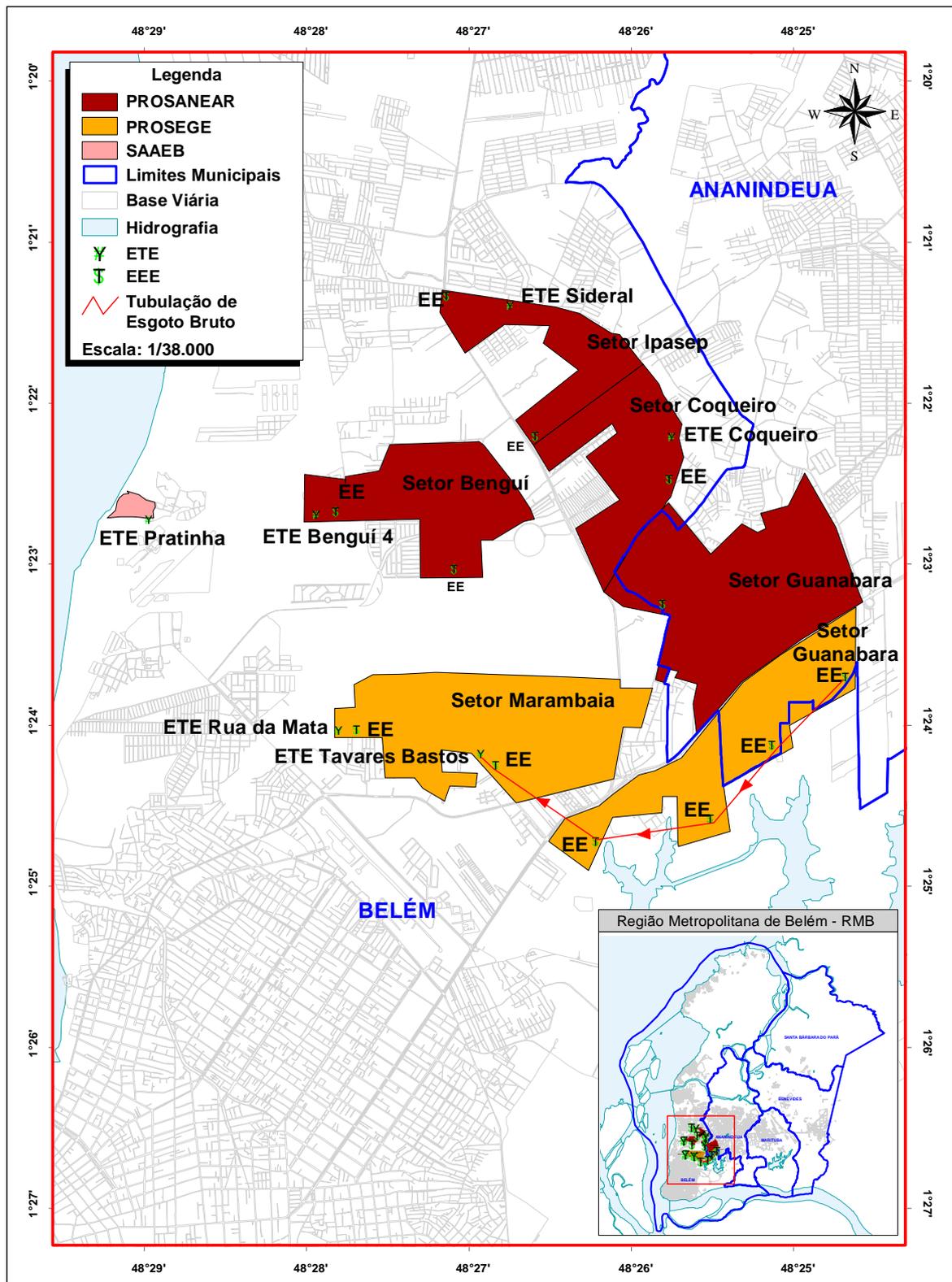
Fonte: Mendes e Pereira (2003), Rocha (2007) e SAAEB (2003).

Conforme Mendes e Pereira (2003) as ETEs implantadas pelo PROSANEAR estão localizadas em áreas do município de Belém e Ananindeua nos setores Ipasep, Coqueiro, Guanabara e Benguí. E as ETEs do PROSEGE estão localizadas em Belém os bairros da Marambaia e Guanabara. A ETE Pratinha implantada pelo SAAEB fica no bairro da Pratinha. Já as ETEs Vila e Aeroporto, também implantadas pelo SAAEB, estão localizadas na ilha de Mosqueiro distrito do município de Belém. No \_Mapa 2 são mostradas as áreas de abrangência e localização das ETEs do PROSANEAR, PROSEGE e da Pratinha. No \_Mapa 3 são mostradas a área de abrangência e localização das ETEs de Mosqueiro.

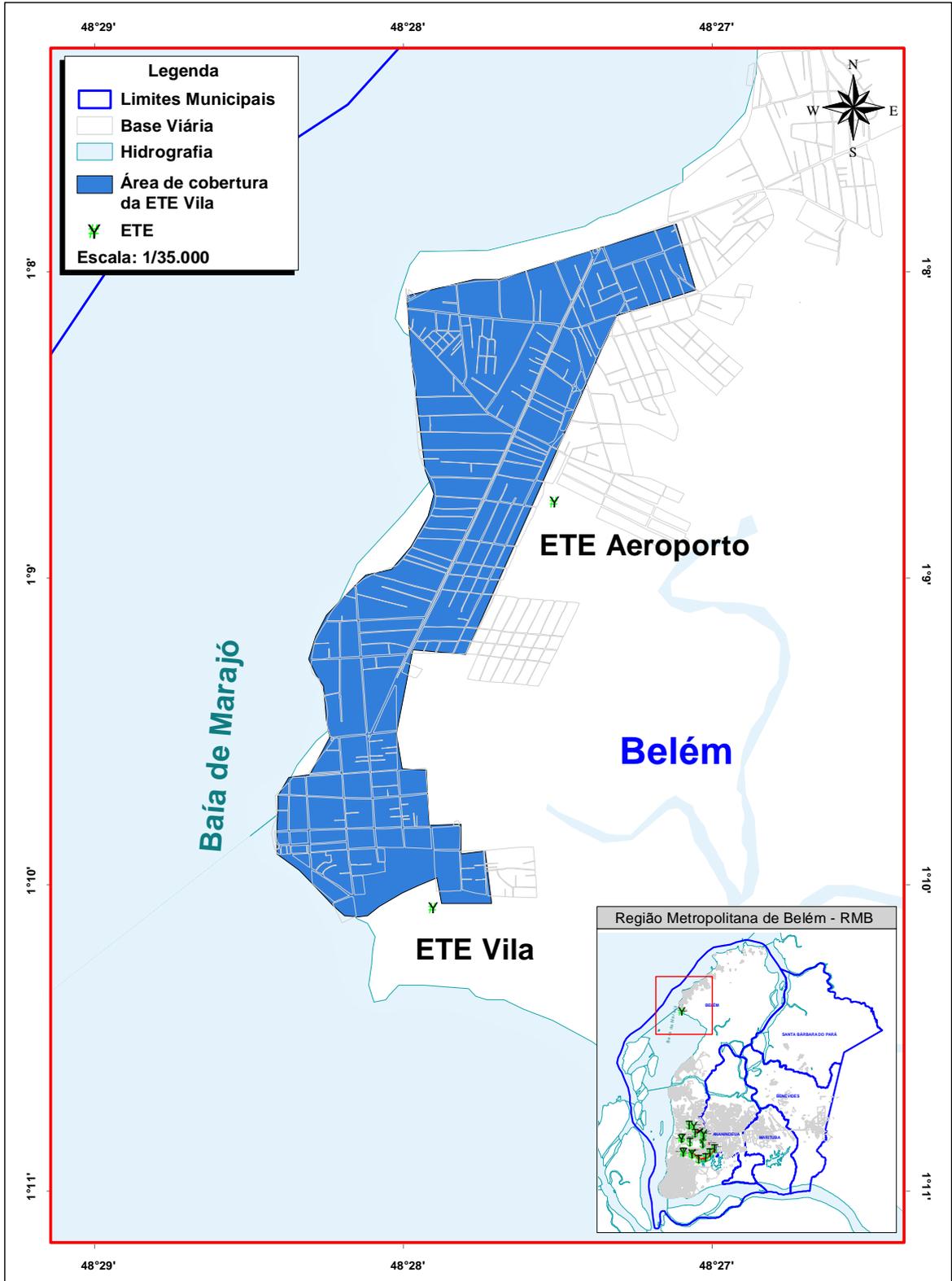
Considerando nos cálculos do volume de lodo, a população e a vazão de projeto, o volume de lodo bruto total produzido em 2009, pelas ETEs existentes na Região Metropolitana de Belém é de 111. 998 m<sup>3</sup>/ano e após desaguamento desse lodo a produção é reduzida para 8. 294 m<sup>3</sup>/ano. Na \_Tabela 19 são mostrados os volumes de lodo bruto e desaguado por ETEs existentes.

Tabela 19 – População, vazão de esgoto e volume de lodo gerado pelas ETEs em 2009.

<b>ETEs Existentes</b>	<b>População</b>	<b>Vazão de esgoto m<sup>3</sup>/d</b>	<b>Volume de Lodo bruto (m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Volume de Lodo desaguado (m<sup>3</sup>/ano)</b>
ETE Sideral	19.926	4.849	4.144	422
ETE Benguí 4	29.445	7.239	6.187	630
ETE Coqueiro	72.325	13.864	11.848	1.206
ETE Rua da Mata	30.000	6.240	44.413	1.004
ETE Tavares Bastos	85.000	17.680	35.835	3.195
ETE Pratinha	4.500	1.382	1.181	120
ETE Vila e ETE Aeroporto	26.430	17.280	8.389	1.718
<b>Total</b>	<b>267.626</b>	<b>68.534</b>	<b>111.998</b>	<b>8.294</b>

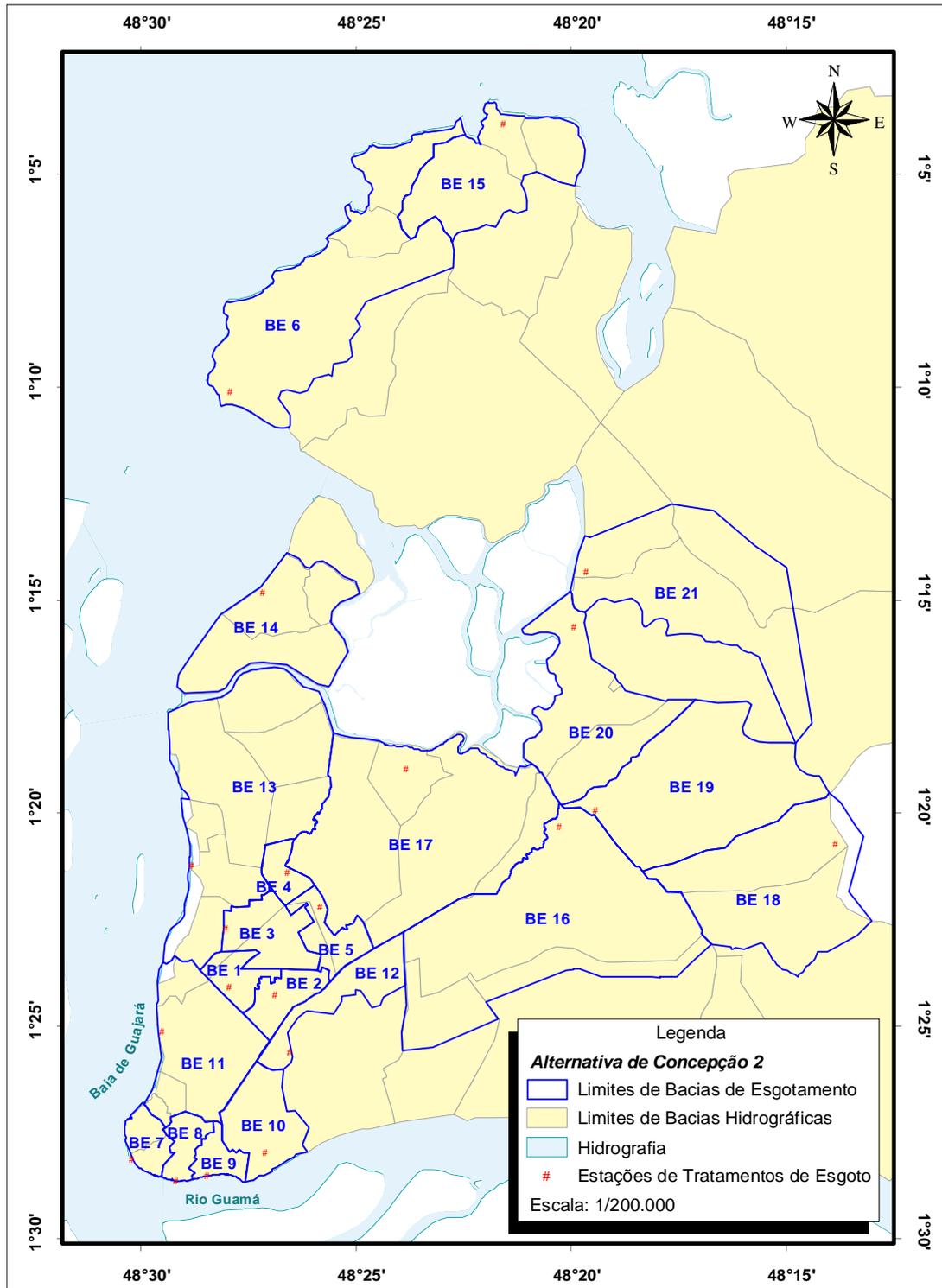


Mapa 2– Área de abrangência e localização das ETEs do PROSANEAR, PROSEGE e da Pratinha.



Mapa 3– Área de abrangência e localização das ETEs de Mosqueiro.

De acordo com o Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário (PDSES) da Região Metropolitana de Belém, no período 2010 a 2030 será adotado sistema descentralizado, com o esgoto coletado em toda área da RMB, tratado em 21 ETEs, caracterizando 21 bacias de esgotamento (Mapa 4).



Mapa 4– Área de abrangência e localização das ETEs por Bacia esgotamento.

Para cada bacia de esgotamento sanitário foram levantados os dados, de crescimento populacional no período de 2010 a 2030, previstos no Plano Diretor de Sistemas de Esgotamento Sanitário na Tabela 20.

Tabela 20 – Projeção populacional por bacia de esgotamento para o período de 2010 a 2030.

Bacia de esgotamento	Ano																				
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BE 1	31.176	31.503	31.818	32.122	32.415	32.698	32.972	33.238	33.495	33.745	33.987	34.628	35.269	35.910	36.551	37.192	38.081	38.969	39.858	40.747	41.635
BE 2	69.040	69.802	70.536	71.243	71.927	72.587	73.226	73.845	74.444	75.026	75.591	77.085	78.579	80.073	81.567	83.061	85.131	87.202	89.273	91.344	93.415
BE 3	75.787	76.580	77.345	78.082	78.794	79.482	80.147	80.792	81.416	82.023	82.611	84.168	85.724	87.280	88.837	90.393	92.550	94.708	96.865	99.023	101.180
BE 4	34.322	34.682	35.028	35.362	35.684	35.996	36.297	36.589	36.872	37.147	37.413	38.118	38.823	39.528	40.233	40.937	41.914	42.891	43.869	44.846	45.823
BE 5	88.382	89.897	91.357	92.764	94.124	95.437	96.707	97.937	99.130	100.287	101.411	104.382	107.353	110.324	113.295	116.265	120.384	124.502	128.621	132.739	136.858
BE 6	28.935	29.235	29.525	29.804	30.073	30.334	30.586	30.830	31.066	31.296	31.519	32.108	32.697	33.286	33.876	34.465	35.282	36.098	36.915	37.732	38.549
BE 7	63.680	64.347	64.990	65.610	66.208	66.787	67.346	67.888	68.413	68.922	69.417	70.726	72.034	73.342	74.650	75.958	77.772	79.585	81.399	83.212	85.026
BE 8	103.132	104.213	105.253	106.257	107.226	108.163	109.069	109.946	110.796	111.621	112.423	114.541	116.660	118.778	120.896	123.015	125.952	128.888	131.825	134.762	137.698
BE 9	94.910	95.897	96.849	97.766	98.653	99.509	100.337	101.139	101.917	102.671	103.404	105.341	107.278	109.215	111.152	113.089	115.774	118.459	121.144	123.829	126.514
BE 10	241.659	244.179	246.606	248.947	251.208	253.392	255.504	257.550	259.533	261.458	263.327	268.268	273.209	278.150	283.091	288.032	294.882	301.731	308.581	315.430	322.280
BE 11	287.921	290.926	293.820	296.612	299.308	301.912	304.432	306.871	309.236	311.531	313.760	319.653	325.545	331.437	337.329	343.221	351.389	359.557	367.725	375.893	384.061
BE 12	69.930	70.976	71.984	72.956	73.894	74.801	75.679	76.528	77.351	78.151	78.927	80.978	83.030	85.082	87.133	89.185	92.029	94.873	97.717	100.561	103.405
BE 13	291.936	295.082	298.113	301.036	303.858	306.586	309.223	311.778	314.254	316.657	318.991	325.161	331.330	337.500	343.669	349.839	358.391	366.944	375.496	384.049	392.601
BE 14	25.973	26.235	26.488	26.732	26.968	27.196	27.416	27.629	27.836	28.036	28.231	28.746	29.261	29.776	30.291	30.806	31.520	32.233	32.947	33.661	34.375
BE 15	3.973	4.014	4.054	4.092	4.129	4.165	4.199	4.233	4.265	4.297	4.328	4.408	4.489	4.570	4.651	4.732	4.844	4.956	5.068	5.181	5.293
BE 16	162.262	165.970	169.542	172.987	176.314	179.528	182.636	185.647	188.565	191.397	194.148	201.419	208.690	215.961	223.232	230.503	240.583	250.662	260.742	270.821	280.901
BE 17	237.097	242.289	247.290	252.114	256.772	261.273	265.626	269.841	273.927	277.893	281.745	291.926	302.107	312.287	322.468	332.649	346.763	360.876	374.990	389.103	403.216
BE 18	26.096	26.659	27.202	27.725	28.231	28.719	29.191	29.649	30.092	30.522	30.940	32.045	33.150	34.254	35.359	36.464	37.995	39.526	41.058	42.589	44.121
BE 19	6.193	6.327	6.456	6.580	6.700	6.816	6.929	7.038	7.143	7.245	7.345	7.608	7.870	8.133	8.396	8.659	9.023	9.387	9.751	10.116	10.480
BE 20	9.031	9.226	9.413	9.594	9.769	9.938	10.102	10.260	10.413	10.562	10.707	11.089	11.471	11.853	12.235	12.617	13.147	13.677	14.207	14.736	15.266
BE 21	4.284	4.373	4.458	4.540	4.619	4.696	4.770	4.842	4.912	4.979	5.045	5.218	5.392	5.565	5.738	5.912	6.152	6.393	6.633	6.873	7.114
<b>Total</b>	<b>1.955.719</b>	<b>1.982.414</b>	<b>2.008.126</b>	<b>2.032.925</b>	<b>2.056.876</b>	<b>2.080.016</b>	<b>2.102.396</b>	<b>2.124.067</b>	<b>2.145.079</b>	<b>2.165.465</b>	<b>2.185.271</b>	<b>2.237.615</b>	<b>2.289.960</b>	<b>2.342.304</b>	<b>2.394.649</b>	<b>2.446.993</b>	<b>2.519.557</b>	<b>2.592.120</b>	<b>2.664.684</b>	<b>2.737.247</b>	<b>2.809.811</b>

No Quadro 5 são apresentadas as ETEs que serão instaladas em cada bacia de esgotamento. Cada bacia possui uma única estação de tratamento de esgoto.

Quadro 5 – Bacias de esgotamento e estações de tratamento de esgoto planejadas pelo PDSES da RMB.

<b>Bacia de esgotamento (BE)</b>	<b>Estação de tratamento de esgoto (ETE)</b>
BE 1	ETE 1- Rua da Mata
BE 2	ETE 2 - Tavares Bastos
BE 3	ETE 3 - Benguí 4
BE 4	ETE 4 - Sideral
BE 5	ETE 5 - Coqueiro
BE 6	ETE 6 – Vila
BE 7	ETE 7 - Cesário Alvim
BE 8	ETE 8 - Quintino
BE 9	ETE 9 - Três de Maio
BE 10	ETE 10 - Tucunduba
BE 11	ETE 11 - Una
BE 12	ETE 12- Mártir
BE 13	ETE 13 - Mata Fome
BE 14	ETE 14 - Água Boa
BE 15	ETE 15 - Paraíso
BE 16	ETE 16 - Jardim Jader Barbalho
BE 17	ETE 17 - Ariri
BE 18	ETE 18 - Benevides
BE 19	ETE 19 - Benfica
BE 20	ETE 20 - Murinin
BE 21	ETE 21 - Santa Bárbara do Pará

Fonte: Plano Diretor de Sistema de Esgotamento Sanitário

De acordo com essa proposta, serão aproveitadas 06 estações de tratamento existentes da RMB e serão implantadas 15 novas estações de tratamento na RMB. As estações de tratamento de esgoto serão divididas da seguinte forma: nove no município de Belém, duas no município de Ananindeua, três em Benevides e uma em Santa Barbara do Pará, no Quadro 6 são apresentados os anos propostos de implantação das ETEs.

Também foi planejado que após 20 anos a Região Metropolitana de Belém apresentará seis ETEs com sistema Reator UASB seguido Lodos Ativado Convencional (**UASB+LAC**), seis com sistema Reator UASB seguido flotação por ar dissolvido (**UASB+FAD**), quatro lagoas aeradas facultativas (**LAF**) e dois sistemas

lodos ativados convencional (**LAC**). A escolha entre os tipos de sistemas de tratamento foi de acordo com itens abaixo:

1. As estações ETE Benguí 4, ETE Sideral, ETE Coqueiro já existentes na RMB, a partir de 2010 passarão a ter como pós-tratamento dos reatores UASB o sistema de lodos ativados. A primeira a ser complementada com esse pós-tratamento será a ETE Benguí 4, em seguida será a ETE Sideral, e por último será a ETE Coqueiro.
2. As estações de tratamento de esgoto implantadas a partir de 2012 até 2030 terão as seguintes distribuição na RMB e terão os seguintes tipos tratamentos (Quadro 6):

O Município de Belém terá 04 ETEs com sistema de reatores anaeróbios seguido de Flotação por Ar Dissolvido (UASB+FAD), 05 ETEs com reatores anaeróbios seguido Lodos Ativados Convencional (UASB+LAC), 01 ETEs com sistema de lodos ativados convencional (LAC) e 02 com lagoas aeradas facultativas (LAF).

O Município de Ananindeua terá 01 ETE com Reator UASB seguido de Flotação por ar dissolvido (FAD) e 01 sistema de lodos ativados convencional (UASB+LAC).

O Município de Benevides terá 01 ETE com lagoas aeradas facultativas (LAF), 01 ETE com reatores anaeróbios seguido de lodos ativados convencional (UASB+LAC) e 01 ETE com reatores anaeróbios seguido flotação por ar dissolvido.

E o município de Santa Barbara terá 01 ETE que tratará seus esgotos com lagoas aeradas facultativas.

Vale ressaltar que de acordo com a proposta do plano diretor somente haverá lagoas aeradas facultativas, em locais que possuem grande quantidade de área disponível para instalação desse tipo de tratamento, como Outeiro, Benevides e Santa Barbara do Pará.

Quadro 6 – Estações de tratamento de esgoto planejadas pelo PDSES para 2010 a 2030.

Ano	Município	ETE complementada ou implantada	Tipo de tratamento
2010	Belém	ETE-Beguí 4 <sup>1</sup>	UASB+LAC
2011	Belém	ETE -Sideral <sup>1</sup>	UASB+LAC
2012	Belém	ETE -Coqueiro <sup>1</sup>	UASB+LAC
2013	Belém	ETE - Cesário Alvim	UASB+FAD
2014	Belém	ETE - Quintino	UASB+FAD
2015	Belém	ETE – Três de Maio	UASB+FAD
2016	Belém	ETE - Tucunduba	UASB+LAC
2017	Belém	ETE - Una	UASB+FAD
2018	Belém	ETE - Martir	UASB+LAC
2019	Belém	ETE – Mata Fome	LAC
2020	Outeiro/Belém	ETE – Água Boa	LAF
2021	Mosqueiro/Belém	ETE – Paraíso	LAF
2022	Ananindeua	ETE – Jardim Jader Barbalho	UASB+FAD
2023	Ananindeua	ETE – Ariri	LAC
2024	Benevides	ETE – Benevides	UASB+FAD
2025	Benevides	ETE – Benfica	UASB+LAC
2026	Benevides	ETE – Murimim	LAF
2027	Santa Barbara do Pará	ETE – Santa Barbara do Pará	LAF
2028 a 2030	OBS: Nos anos de 2028 a 2030 não serão instaladas ETES nesses anos somente aumentará numero de atendimentos em cada ETEs existente.		

<sup>1</sup> A ETE terá seu tratamento complementado por lodos ativados convencional.

Na Tabela 21, está mostrado o incremento populacional do período de 2010 a 2030, na Região Metropolitana de Belém nas bacia esgotamento. As bacias de esgotamento que serão atendidas por tanques sépticos possuem cor diferente das bacias atendidas por estações de tratamento de esgoto. As bacias que possuem cor amarela serão atendidas por tanques sépticso e as em azul serão atendidas por estações de tratamento de esgoto.

Tabela 21 – População atendida por estação de tratamento de esgoto e tanque séptico no período de 2010 a 2030.

ETE	Ano																				
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BE 1	31.176	31.503	31.818	32.122	32.415	32.698	32.972	33.238	33.495	33.745	33.987	34.628	35.269	35.910	36.551	37.192	38.081	38.969	39.858	40.747	41.635
BE 2	69.040	69.802	70.536	71.243	71.927	72.587	73.226	73.845	74.444	75.026	75.591	77.085	78.579	80.073	81.567	83.061	85.131	87.202	89.273	91.344	93.415
BE 3	75.787	76.580	77.345	78.082	78.794	79.482	80.147	80.792	81.416	82.023	82.611	84.168	85.724	87.280	88.837	90.393	92.550	94.708	96.865	99.023	101.180
BE 4	34.322	34.682	35.028	35.362	35.684	35.996	36.297	36.589	36.872	37.147	37.413	38.118	38.823	39.528	40.233	40.937	41.914	42.891	43.869	44.846	45.823
BE 5	88.382	89.897	91.357	92.764	94.124	95.437	96.707	97.937	99.130	100.287	101.411	104.382	107.353	110.324	113.295	116.265	120.384	124.502	128.621	132.739	136.858
BE 6	28.935	29.235	29.525	29.804	30.073	30.334	30.586	30.830	31.066	31.296	31.519	32.108	32.697	33.286	33.876	34.465	35.282	36.098	36.915	37.732	38.549
BE 7	63.680	64.347	64.990	65.610	66.208	66.787	67.346	67.888	68.413	68.922	69.417	70.726	72.034	73.342	74.650	75.958	77.772	79.585	81.399	83.212	85.026
BE 8	103.132	104.213	105.253	106.257	107.226	108.163	109.069	109.946	110.796	111.621	112.423	114.541	116.660	118.778	120.896	123.015	125.952	128.888	131.825	134.762	137.698
BE 9	94.910	95.897	96.849	97.766	98.653	99.509	100.337	101.139	101.917	102.671	103.404	105.341	107.278	109.215	111.152	113.089	115.774	118.459	121.144	123.829	126.514
BE 10	241.659	244.179	246.606	248.947	251.208	253.392	255.504	257.550	259.533	261.458	263.327	268.268	273.209	278.150	283.091	288.032	294.882	301.731	308.581	315.430	322.280
BE 11	287.921	290.926	293.820	296.612	299.308	301.912	304.432	306.871	309.236	311.531	313.760	319.653	325.545	331.437	337.329	343.221	351.389	359.557	367.725	375.893	384.061
BE 12	69.930	70.976	71.984	72.956	73.894	74.801	75.679	76.528	77.351	78.151	78.927	80.978	83.030	85.082	87.133	89.185	92.029	94.873	97.717	100.561	103.405
BE 13	291.936	295.082	298.113	301.036	303.858	306.586	309.223	311.778	314.254	316.657	318.991	325.161	331.330	337.500	343.669	349.839	358.391	366.944	375.496	384.049	392.601
BE 14	25.973	26.235	26.488	26.732	26.968	27.196	27.416	27.629	27.836	28.036	28.231	28.746	29.261	29.776	30.291	30.806	31.520	32.233	32.947	33.661	34.375
BE 15	3.973	4.014	4.054	4.092	4.129	4.165	4.199	4.233	4.265	4.297	4.328	4.408	4.489	4.570	4.651	4.732	4.844	4.956	5.068	5.181	5.293
BE 16	162.262	165.970	169.542	172.987	176.314	179.528	182.636	185.647	188.565	191.397	194.148	201.419	208.690	215.961	223.232	230.503	240.583	250.662	260.742	270.821	280.901
BE 17	237.097	242.289	247.290	252.114	256.772	261.273	265.626	269.841	273.927	277.893	281.745	291.926	302.107	312.287	322.468	332.649	346.763	360.876	374.990	389.103	403.216
BE 18	26.096	26.659	27.202	27.725	28.231	28.719	29.191	29.649	30.092	30.522	30.940	32.045	33.150	34.254	35.359	36.464	37.995	39.526	41.058	42.589	44.121
BE 19	6.193	6.327	6.456	6.580	6.700	6.816	6.929	7.038	7.143	7.245	7.345	7.608	7.870	8.133	8.396	8.659	9.023	9.387	9.751	10.116	10.480
BE 20	9.031	9.226	9.413	9.594	9.769	9.938	10.102	10.260	10.413	10.562	10.707	11.089	11.471	11.853	12.235	12.617	13.147	13.677	14.207	14.736	15.266
BE 21	4.284	4.373	4.458	4.540	4.619	4.696	4.770	4.842	4.912	4.979	5.045	5.218	5.392	5.565	5.738	5.912	6.152	6.393	6.633	6.873	7.114
<b>Total</b>	<b>1.955.719</b>	<b>1.982.414</b>	<b>2.008.126</b>	<b>2.032.925</b>	<b>2.056.876</b>	<b>2.080.016</b>	<b>2.102.396</b>	<b>2.124.067</b>	<b>2.145.079</b>	<b>2.165.465</b>	<b>2.185.271</b>	<b>2.237.615</b>	<b>2.289.960</b>	<b>2.342.304</b>	<b>2.394.649</b>	<b>2.446.993</b>	<b>2.519.557</b>	<b>2.592.120</b>	<b>2.664.684</b>	<b>2.737.247</b>	<b>2.809.811</b>

 Volume de lodo produzido por Estação de tratamento de esgoto (m³/ano) e  Volume de lodo produzido por tanque séptico (m³/ano)

Nas Tabela 22, podemos observar o volume de lodo bruto gerado pelas ETEs e pelos tanques sépticos em cada bacia de esgotamento e na Tabela 23 o volume de lodo desses dos tipos de tratamento após desaguamento em leito de secagem. Vale lembrar que os esgotos gerados nas bacias de esgotamento que estão em azul, serão tratados em estações de tratamento de esgoto e os esgotos gerados nas bacias de esgotamento que estão em amarelo serão tratados por tanque séptico.

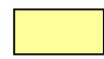
Tabela 22 – Volume de lodo bruto gerado em tanques sépticos e em estação de tratamento de esgoto no período de 2010 a 2030.

ETE	Ano																				
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2009	2030
BE 1	13.506	13.647	13.784	13.915	14.043	14.165	14.284	14.399	14.510	14.619	14.724	15.001	15.279	15.557	15.834	16.112	16.497	16.882	17.267	17.652	18.037
BE 2	29.107	29.428	29.737	30.036	30.324	30.602	30.871	31.132	31.385	31.630	31.869	32.498	33.128	33.758	34.388	35.018	35.891	36.764	37.637	38.510	39.383
BE 3	32.832	33.175	33.507	33.826	34.135	34.433	34.721	35.000	35.271	35.533	35.788	36.462	37.137	37.811	38.485	39.159	40.094	41.029	41.963	42.898	43.832
BE 4	6.101	15.025	15.175	15.319	15.459	15.594	15.724	15.851	15.973	16.092	16.208	16.513	16.819	17.124	17.429	17.735	18.158	18.581	19.004	19.428	19.851
BE 5	15.711	15.981	39.577	40.187	40.775	41.344	41.895	42.428	42.944	43.445	43.932	45.219	46.506	47.793	49.081	50.368	52.152	53.936	55.720	57.504	59.288
BE 6	2.922	2.952	2.981	3.010	3.037	3.063	3.088	3.113	3.137	3.160	3.183	3.242	3.302	3.361	3.421	3.480	3.563	3.645	3.728	3.810	3.893
BE 7	4.458	4.504	4.549	27.661	27.913	28.157	28.393	28.621	28.842	29.057	29.266	29.817	30.369	30.920	31.472	32.023	32.788	33.553	34.317	35.082	35.846
BE 8	7.219	7.295	7.368	7.438	45.206	45.601	45.982	46.352	46.711	47.059	47.396	48.290	49.183	50.076	50.969	51.862	53.100	54.338	55.576	56.814	58.052
BE 9	6.644	6.713	6.779	6.844	6.906	41.952	42.301	42.639	42.967	43.285	43.594	44.411	45.227	46.044	46.861	47.677	48.809	49.941	51.073	52.205	53.337
BE 10	16.916	17.093	17.262	17.426	17.585	17.737	110.687	111.574	112.433	113.267	114.076	116.217	118.357	120.498	122.638	124.779	127.746	130.713	133.681	136.648	139.615
BE 11	20.154	20.365	20.567	20.763	20.952	21.134	21.310	129.374	130.371	131.339	132.279	134.763	137.247	139.731	142.215	144.699	148.143	151.586	155.030	158.473	161.917
BE 12	4.895	4.968	5.039	5.107	5.173	5.236	5.297	5.357	33.510	33.856	34.192	35.081	35.970	36.858	37.747	38.636	39.868	41.100	42.332	43.564	44.796
BE 13	20.435	20.656	20.868	21.072	21.270	21.461	21.646	21.824	21.998	132.863	133.842	136.431	139.019	141.608	144.197	146.785	150.374	153.962	157.551	161.139	164.727
BE 14	1.818	1.836	1.854	1.871	1.888	1.904	1.919	1.934	1.948	1.963	2.851	2.903	2.955	3.007	3.059	3.111	3.183	3.255	3.327	3.399	3.471
BE 15	278	281	284	286	289	292	294	296	299	301	303	445	453	461	470	478	489	500	512	523	534
BE 16	11.358	11.618	11.868	12.109	12.342	12.567	12.785	12.995	13.200	13.398	13.590	14.099	87.982	91.048	94.113	97.178	101.428	105.677	109.927	114.176	118.426
BE 17	16.597	16.960	17.310	17.648	17.974	18.289	18.594	18.889	19.175	19.452	19.722	20.435	21.147	131.029	135.301	139.573	145.495	151.416	157.338	163.260	169.181
BE 18	1.827	1.866	1.904	1.941	1.976	2.010	2.043	2.075	2.106	2.137	2.166	2.243	2.320	2.398	14.907	15.373	16.018	16.664	17.310	17.955	18.601
BE 19	433	443	452	461	469	477	485	493	500	507	514	533	551	569	588	3.751	3.909	4.067	4.224	4.382	4.540
BE 20	632	646	659	672	684	696	707	718	729	739	749	776	803	830	856	883	1.328	1.381	1.435	1.488	1.542
BE 21	300	306	312	318	323	329	334	339	344	349	353	365	377	390	402	414	431	646	670	694	718
<b>Total</b>	214.144	225.758	251.837	277.909	318.720	357.042	453.362	565.404	598.353	714.050	720.598	735.745	824.132	950.871	984.431	1.009.093	1.039.461	1.069.636	1.099.620	1.129.605	1.159.589

Volume de lodo produzido por Estação de tratamento de esgoto (m³/ano) e  Volume de lodo produzido por tanque séptico (m³/ano)

Tabela 23 – Volume de lodo gerado em tanques sépticos e estações de tratamento de esgoto após desaguamento no período de 2010 a 2030.

ETE	Ano																				
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BE 1	1.043	1.054	1.065	1.075	1.085	1.094	1.103	1.112	1.121	1.129	1.137	1.159	1.180	1.201	1.223	1.244	1.274	1.304	1.334	1.363	1.393
BE 2	2.595	2.623	2.651	2.677	2.703	2.728	2.752	2.775	2.798	2.820	2.841	2.897	2.953	3.009	3.065	3.122	3.199	3.277	3.355	3.433	3.511
BE 3	2.536	2.562	2.588	2.612	2.636	2.659	2.681	2.703	2.724	2.744	2.764	2.816	2.868	2.920	2.972	3.024	3.096	3.169	3.241	3.313	3.385
BE 4	1.148	1.160	1.172	1.183	1.194	1.204	1.214	1.224	1.234	1.243	1.252	1.275	1.299	1.322	1.346	1.370	1.402	1.435	1.468	1.500	1.533
BE 5	1.599	3.008	3.057	3.104	3.149	3.193	3.236	3.277	3.317	3.355	3.393	3.492	3.592	3.691	3.790	3.890	4.028	4.165	4.303	4.441	4.579
BE 6	598	605	610	616	622	627	632	637	642	647	652	664	676	688	700	713	730	746	763	780	797
BE 7	2.324	2.349	2.372	2.466	2.488	2.510	2.531	2.551	2.571	2.590	2.609	2.658	2.707	2.756	2.806	2.855	2.923	2.991	3.059	3.127	3.195
BE 8	3.764	3.804	3.842	3.878	4.030	4.065	4.099	4.132	4.164	4.195	4.225	4.305	4.384	4.464	4.544	4.623	4.734	4.844	4.954	5.065	5.175
BE 9	3.464	3.500	3.535	3.568	3.601	3.740	3.771	3.801	3.830	3.859	3.886	3.959	4.032	4.105	4.177	4.250	4.351	4.452	4.553	4.654	4.755
BE 10	8.821	8.913	9.001	9.087	9.169	9.249	8.548	8.617	8.683	8.748	8.810	8.975	9.141	9.306	9.471	9.637	9.866	10.095	10.324	10.553	10.782
BE 11	10.509	10.619	10.724	10.826	10.925	11.020	11.112	11.533	11.622	11.708	11.792	12.013	12.235	12.456	12.678	12.899	13.206	13.513	13.820	14.127	14.434
BE 12	2.552	2.591	2.627	2.663	2.697	2.730	2.762	2.793	2.588	2.615	2.641	2.709	2.778	2.847	2.915	2.984	3.079	3.174	3.269	3.364	3.460
BE 13	10.656	10.770	10.881	10.988	11.091	11.190	11.287	11.380	11.470	11.232	11.315	11.534	11.753	11.972	12.191	12.409	12.713	13.016	13.320	13.623	13.926
BE 14	948	958	967	976	984	993	1.001	1.008	1.016	1.023	584	594	605	616	626	637	652	666	681	696	711
BE 15	145	147	148	149	151	152	153	155	156	157	158	91	93	94	96	98	100	102	105	107	109
BE 16	5.923	6.058	6.188	6.314	6.435	6.553	6.666	6.776	6.883	6.986	7.086	7.352	7.843	8.116	8.390	8.663	9.042	9.420	9.799	10.178	10.557
BE 17	8.654	8.844	9.026	9.202	9.372	9.536	9.695	9.849	9.998	10.143	10.284	10.655	11.027	11.077	11.439	11.800	12.300	12.801	13.302	13.802	14.303
BE 18	953	973	993	1.012	1.030	1.048	1.065	1.082	1.098	1.114	1.129	1.170	1.210	1.250	1.329	1.370	1.428	1.485	1.543	1.601	1.658
BE 19	226	231	236	240	245	249	253	257	261	264	268	278	287	297	306	290	302	314	326	338	351
BE 20	330	337	344	350	357	363	369	374	380	386	391	405	419	433	447	461	272	283	294	305	316
BE 21	156	160	163	166	169	171	174	177	179	182	184	190	197	203	209	216	225	132	137	142	147
<b>Total</b>	68.416	69.882	72.189	73.153	74.132	75.075	75.106	76.215	76.735	77.140	77.400	79.192	81.278	82.825	84.721	86.553	88.921	91.387	93.950	96.514	99.077

 Volume de lodo após desaguamento das Estações de tratamento de esgoto (m³/ano)  
 Volume de lodo após desaguamento dos tanques sépticos (m³/ano)

Na Tabela 24 observa-se que o número de pessoas atendidas por tanques sépticos diminuirá ao longo dos 20 anos, até que todos os habitantes sejam atendidos por ETEs. Em 2010, o número de habitantes atendidos com tanques sépticos será 1.628.076, reduzindo para 6.152 habitantes em 2026, ou seja, a partir de 2027 toda população da RMB será atendida por estações de tratamento de esgoto, e não mais ocorrerá geração de lodo em tanque séptico. Em relação às ETEs, podemos verificar que a população aumentará de 327.642 (2010) habitantes para 2.809.811 habitantes em 2030.

De acordo ainda com a mesma tabela, como a população atendida por tanque séptico ao longo desses 20 anos diminuirá o volume de lodo gerado na RMB pelos tanques sépticos também diminuirá. Em 2010 o volume de lodo bruto total gerado pelos tanques sépticos será 113.965 m<sup>3</sup>/ano e em 2026 diminuirá 431 m<sup>3</sup>/ano. A partir de 2027, de acordo com a proposta do Plano, a geração de lodo será restrita às ETEs, ou seja, será considerado que essa população deixará de utilizar os tanques sépticos para usar os tratamentos coletivos (ETEs). Sendo assim, ocorrerá o aumento da produção de lodo gerado pelas ETEs. A produção de lodo em ETEs na RMB aumentará no período de 2010 a 2030, de 100.178 m<sup>3</sup>/ano para 1.159.589 m<sup>3</sup>/ano.

Se o lodo gerado nos tanques sépticos e nas estações e de tratamento de esgoto forem submetidos a desaguamento em leito de secagem, esses lodos sofrerão uma redução em volume. No caso dos tanques sépticos o lodo, em 2010, será reduzido para 59.425 m<sup>3</sup>/ano chegando a 225 m<sup>3</sup>/ano em 2026. Já as ETEs reduzirão o seu volume para 8.992 m<sup>3</sup>/ano em 2010 para 99.077 m<sup>3</sup>/ano em 2030, conforme mostrado na Tabela 24.

Tabela 24 – Volume de lodo total gerado na Região Metropolitana de Belém no período de 2010 a 2030.

Ano	População		Volume lodo bruto (m³/ano)		Volume de lodo desaguado (m³/ano)	
	ETE	TS	ETE	TS	ETE	TS
2010	327.642	1.628.076	100.178	113.965	8.992	59.425
2011	331.700	1.650.714	110.208	115.550	9.631	60.251
2012	335.608	1.672.518	134.760	117.076	11.142	61.047
2013	404.987	1.627.938	163.953	113.956	13.733	59.420
2014	516.452	1.540.424	210.891	107.830	17.907	56.225
2015	620.993	1.459.022	254.911	102.132	21.821	53.254
2016	882.192	1.220.203	367.948	85.414	30.568	44.537
2017	1.196.624	927.443	500.483	64.921	42.363	33.852
2018	1.283.670	861.408	538.055	60.299	45.293	31.441
2019	1.610.533	554.932	675.205	38.845	56.885	20.255
2020	1.651.014	534.257	683.200	37.398	57.900	19.500
2021	1.688.311	549.305	697.294	38.451	59.142	20.050
2022	1.929.971	359.989	798.933	25.199	68.139	13.140
2023	2.282.499	59.806	946.685	4.186	80.642	2.183
2024	2.368.280	26.369	982.586	1.846	83.758	962
2025	2.428.464	18.529	1.007.796	1.297	85.877	676
2026	2.513.405	6.152	1.039.030	431	88.696	225
<b>2027</b>	<b>2.592.120</b>	<b>0</b>	<b>1.069.636</b>	<b>0</b>	<b>91.387</b>	<b>0</b>
2028	2.664.684	0	1.099.620	0	93.950	0
2029	2.737.247	0	1.129.605	0	96.514	0
2030	2.809.811	0	1.159.589	0	99.077	0
<b>Total</b>	<b>33.176.207</b>	<b>14.697.087</b>	<b>13.670.566</b>	<b>1.028.796</b>	<b>1.163.417</b>	<b>536.444</b>

Nos itens de 1 a 6 serão comentados sobre a produção de lodo bruto e a do lodo desaguado na Região Metropolitana de Belém por período. Teremos o período 2010 a 2012, 2013 a 2016, 2017 a 2020, 2021 a 2024, 2025 a 2028 e 2029 e 2030.

#### 1. Volume de lodo produzido pelas ETEs na RMB no período de 2010 a 2012.

De acordo com os gráficos abaixo foi proposto que no período de 2010 a 2012, permaneceriam ainda em funcionamento na RMB as ETEs, Rua da Mata, Tavares Bastos, Benguí 4, Sideral, Coqueiro e Vila.

Essas ETEs em 2009 possuíam os seguintes tipos de tratamento: Reator UASB seguido de lodos ativados (Rua da Mata); Reator UASB seguido de flotação

por ar dissolvido (Tavares Bastos); Reator UASB (Benguí 4); Reator UASB (Sideral); Reator UASB (Coqueiro) e Lagoa Aerada Facultativa (Vila), respectivamente.

Entretanto, para 2010 foi previsto a complementação dos tratamentos das ETEs, Benguí 4, Sideral e Coqueiro com pós-tratamento por lodos ativados convencional, para aumento da eficiência de tratamento das estações. Essa complementação do tratamento, segue a seguinte ordem: Benguí 4 (2010), Sideral (2011), Coqueiro (2012).

Com essa mudança no tratamento, as ETEs Benguí 4, Sideral e Coqueiro apresentarão no período de 2010 a 2012, os seguintes volumes de lodo bruto e desaguado:

#### **1 - Lodo Bruto:**

- Ano 2010 – ETE Benguí 4 = 32.832 m<sup>3</sup>/ano, Sideral = 14.869 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 1) e Coqueiro = 15.711 m<sup>3</sup>/ano;
- Ano 2011 – ETE Benguí 4 = 33.175 m<sup>3</sup>/ano, Sideral = 15.025 m<sup>3</sup>/ano e Coqueiro = 15.981 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 2);
- Ano 2012 – ETE Benguí 4 = 33.507 m<sup>3</sup>/ano, Sideral = 15.175 m<sup>3</sup>/ano e Coqueiro = 39.577 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 3).

#### **2 - Lodo após desaguamento em leito de secagem:**

- 2010 – Benguí 4 – 2.536 m<sup>3</sup>/ano, Sideral – 621 m<sup>3</sup>/ano e Coqueiro – 1.599 (\_Gráfico 4);
- 2011 – Benguí 4 – 2.562 m<sup>3</sup>/ano, Sideral – 1.160 m<sup>3</sup>/ano e Coqueiro – 1.626 (\_Gráfico 5).
- 2012 – Benguí 4 – 2.588 m<sup>3</sup>/ano, Sideral – 1.172 m<sup>3</sup>/ano e Coqueiro – 3.057 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 6).

A ETE com maior produção de lodo bruto em 2010 (\_Gráfico 1) e em 2011 (\_Gráfico 2), será a ETE Benguí 4 com 32.832 m<sup>3</sup>/ano e 33.175 m<sup>3</sup>/ano respectivamente, e em 2012 (\_Gráfico 3) será a ETE Coqueiro com 39.557 m<sup>3</sup>/ano. E

a ETE com menor produção de lodo será a ETE Vila, com produção de lodo bruto média de 2.952 m<sup>3</sup>/ano no período de 2010 (\_Gráfico 1) a 2011(\_Gráfico 3).

Apesar da ETE Benguí 4 possuir maior volume de lodo bruto em 2010, e em 2011, quando desaguado em leito de secagem, seu lodo passará a ter um volume um pouco menor do que o da ETE Tavares Bastos, que é a segunda maior produtora de lodo bruto nesses anos. A ETE Tavares Bastos após desaguamento reduz seu volume para: 2.595 m<sup>3</sup>/ano no ano de 2010 (Gráfico 4) e 2.623 em 2011 (Gráfico 5). No ano 2012 (Gráfico 6) continua sendo a ETE Coqueiro, a maior produtora de lodo com 3.057m<sup>3</sup>/ano.

A menor produtora de lodo (ETE Vila), após desaguamento de seu lodo em leito de secagem, apresentará um volume de lodo desaguado, no período de 2010 (Gráfico 4) a 2012 (Gráfico 6) de 598, 605 e 610 m<sup>3</sup>/ano.

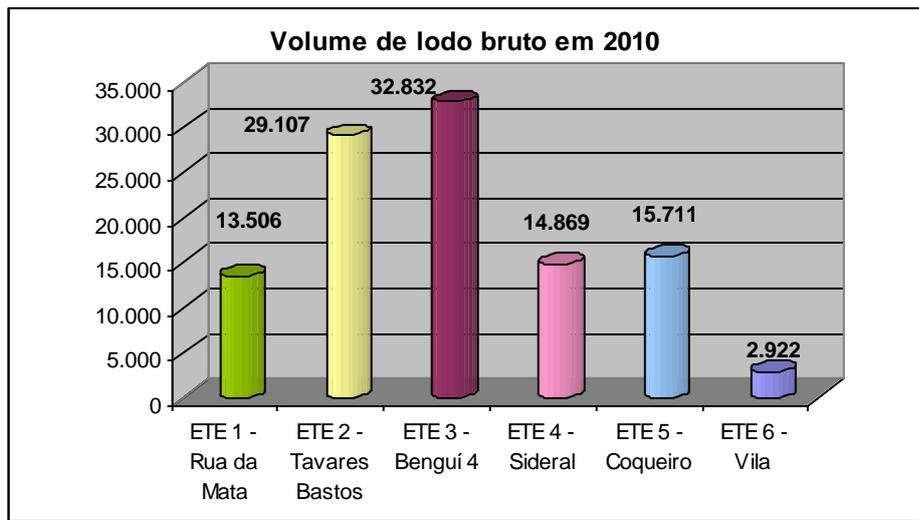


Gráfico 1 – Volume de lodo bruto na RMB em 2010.

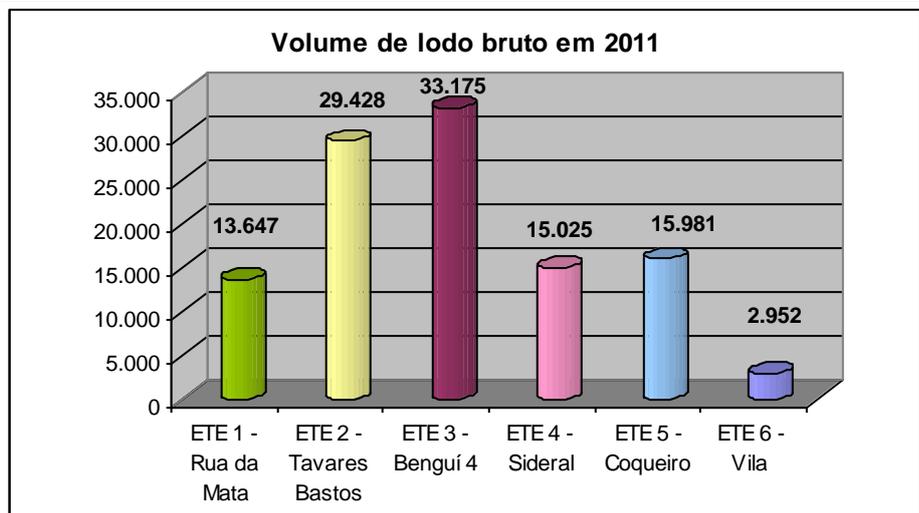


Gráfico 2 – Volume de lodo bruto na RMB em 2011.

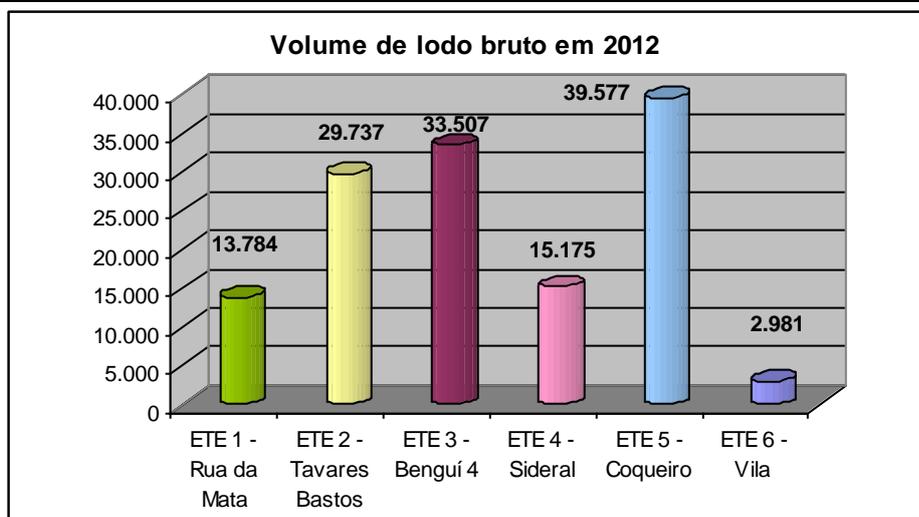


Gráfico 3 – Volume de lodo bruto na RMB em 2012.

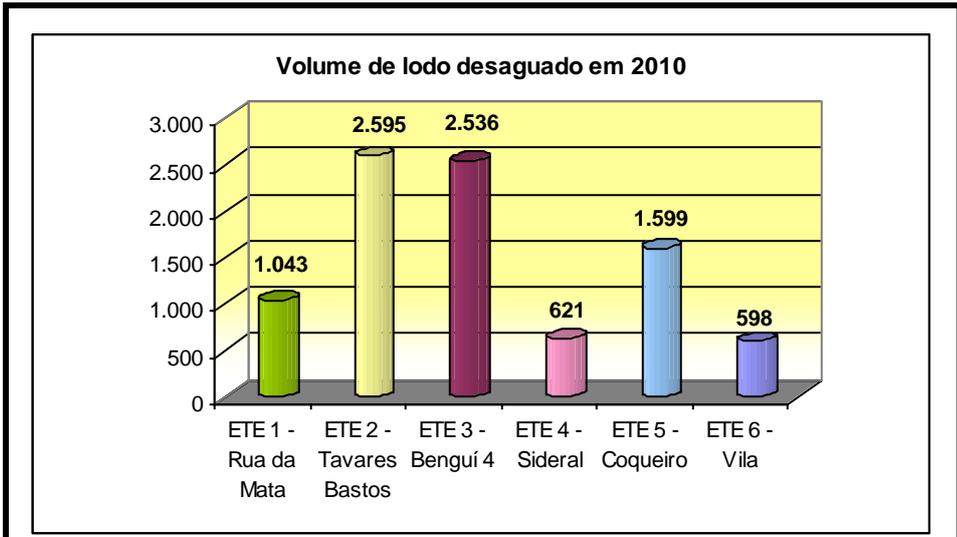


Gráfico 4 – Volume de lodo após desaguamento em 2010.

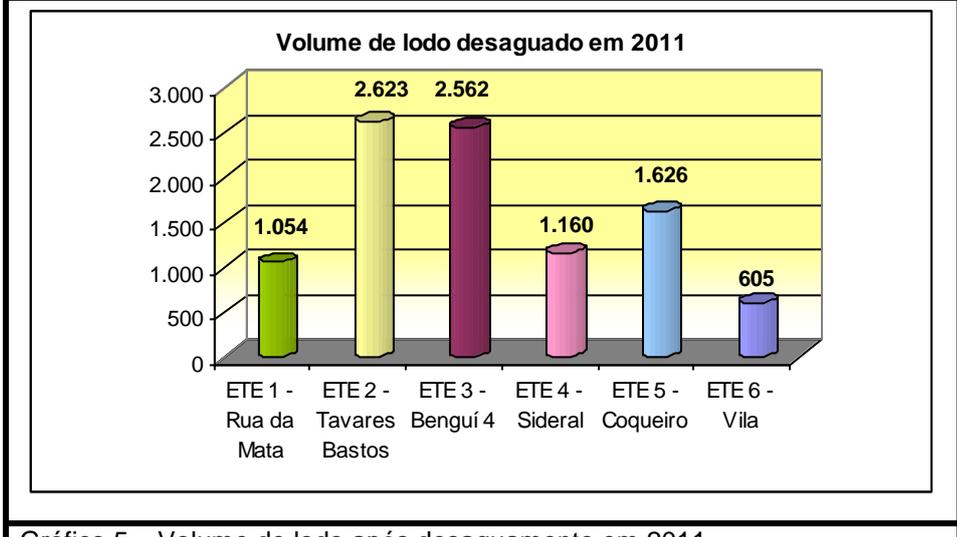


Gráfico 5 – Volume de lodo após desaguamento em 2011.

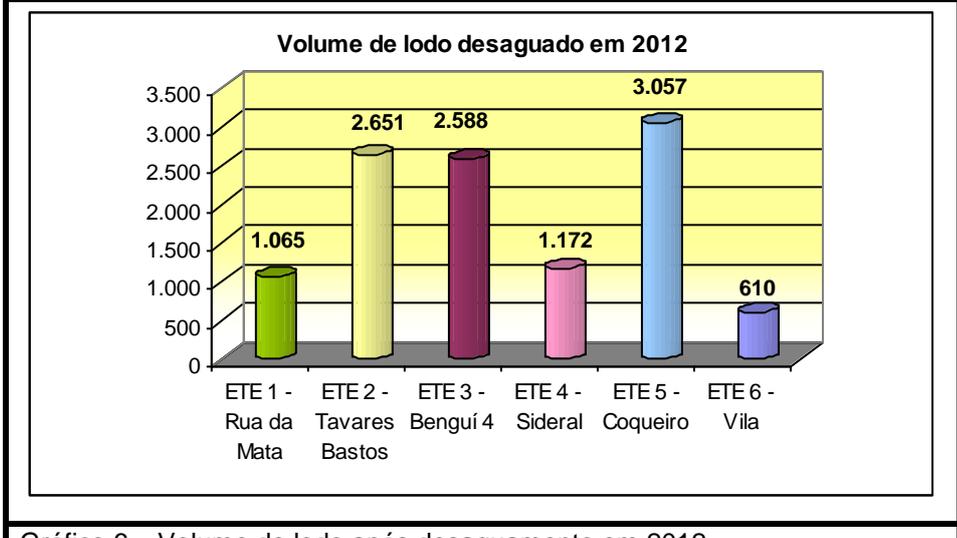


Gráfico 6 – Volume de lodo após desaguamento em 2012.

## **2. Volume de lodo bruto produzido pelas ETEs na RMB no período de 2013 a 2016.**

No ano de 2013 iniciará a instalação das ETEs novas na Região Metropolitana de Belém. As ETEs instaladas no período de 2013 a 2015 serão: Cesário Alvim, Quintino, Três de Maio, Tucunduba, sendo que essas ETEs ficarão localizadas no município de Belém.

No ano de 2013 (\_Gráfico 7) será instalada a ETE Cesário Alvim, a qual produzirá cerca de 27.661 m<sup>3</sup>/ano de lodo bruto, entretanto a ETE Coqueiro é a que produzirá maior volume de lodo nesse ano, que será de 40.187 m<sup>3</sup>/ano.

Em 2014 (\_Gráfico 8), será implantado a ETE Quintino, essa ETE será a maior produtora de lodo nesse ano com 45.206 m<sup>3</sup>/ano.

No ano 2015 (\_Gráfico 9), será instalada a ETE Três de Maio, porém ainda continua sendo a ETE Quintino a que produz maior volume de lodo (ETE Quintino - 45.601 m<sup>3</sup>/ano). A ETE Três de Maio será a segunda maior produtora com 41.952 m<sup>3</sup>/ano nesse ano.

Já no ano 2016 (\_Gráfico 10), será instalada a ETE Tucunduba, essa ETE produzirá o maior volume de lodo bruto, cerca de 110.687 m<sup>3</sup>/ano, o que corresponderá aproximadamente ao dobro da produção da segunda maior produtora de lodo, que é a ETE Quintino com 45.982 m<sup>3</sup>/ano. A produção da ETE Tucunduba será 35 vezes maior que a da ETE Vila, a qual apresentará o menor volume de lodo produzido (3.088 m<sup>3</sup>/ano).

A ETE que produzirá menor volume de lodo é ETE Vila. Nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016 seu volume será respectivamente 3.010, 3.037, 3.063 e 3.088 m<sup>3</sup>/ano, como mostrado nos os Gráficos de 7 a 10.

O lodo das ETEs, Cesário Alvim, Quintino, Três de Maio, Tucunduba, se forem desaguados em leito de secagem, passarão a ter os volumes descritos abaixo:

- 2013 - ETE Cesário Alvim – 2.466 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 11);
- 2014 – ETE Cesário Alvim – 2.488 m<sup>3</sup>/ano e ETE Quintino – 4.030 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 12);
- 2015 – ETE Cesário Alvim – 2.510 m<sup>3</sup>/ano, ETE Quintino – 4.065 m<sup>3</sup>/ano e ETE Três de Maio – 3.740 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 13);
- 2016 – ETE Cesário Alvim – 2.531 m<sup>3</sup>/ano, ETE Quintino – 4.099 m<sup>3</sup>/ano, ETE Três de Maio – 3.771 m<sup>3</sup>/ano e Tucunduba – 8.548 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 14).

No período, a ETE Vila apresentará volume de lodo desaguado variando de 616 a 632 m<sup>3</sup>/ano.

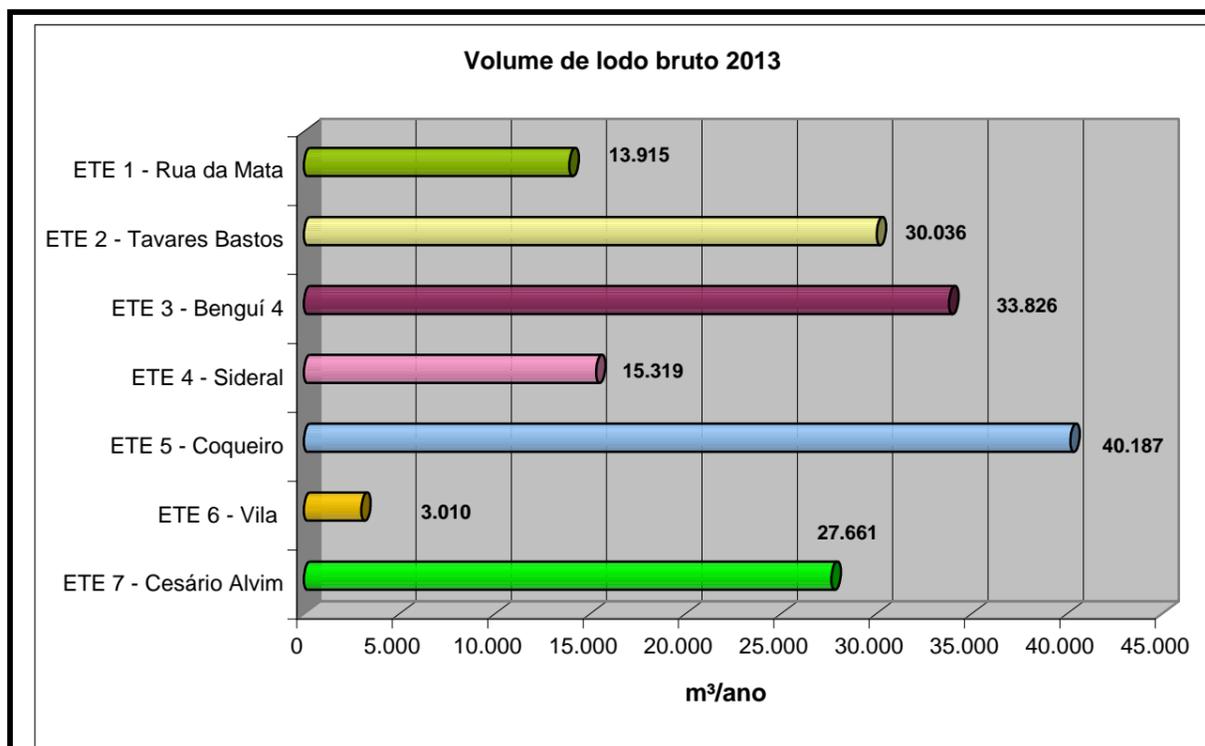


Gráfico 7 – Volume de lodo bruto da RMB em 2013

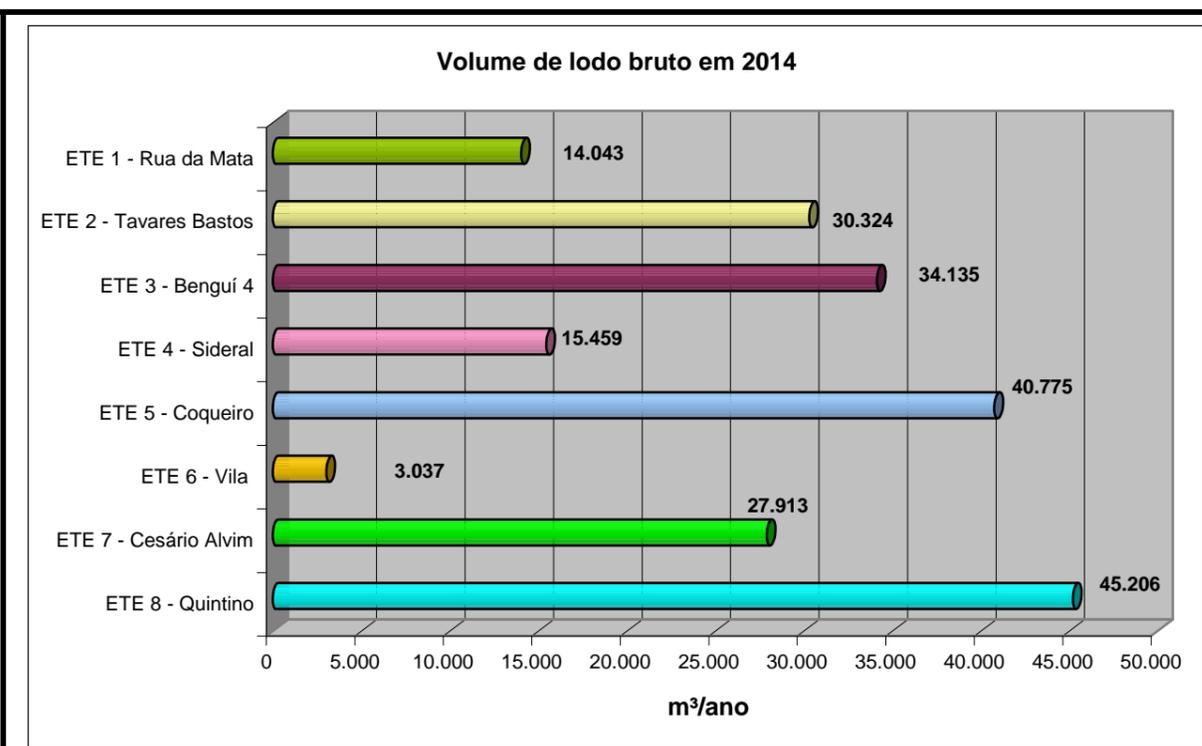


Gráfico 8 – Volume de lodo bruto da RMB em 2014.

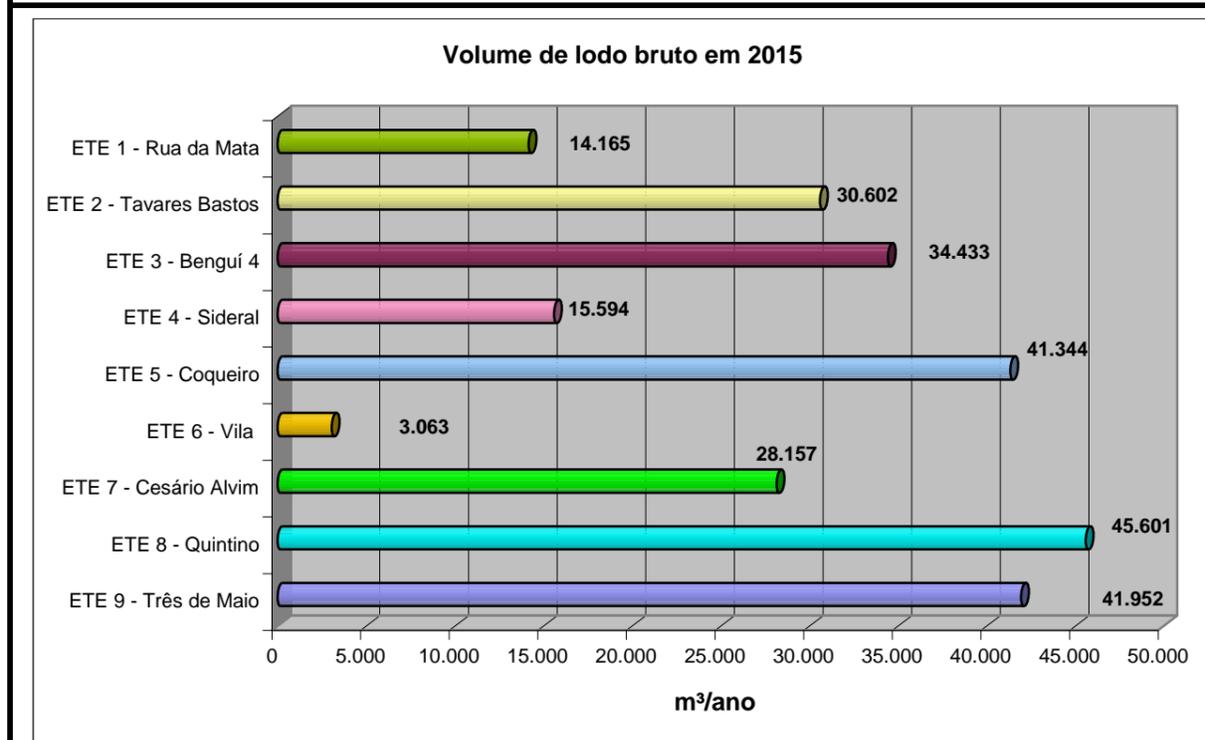


Gráfico 9 – Volume de lodo bruto da RMB em 2015.

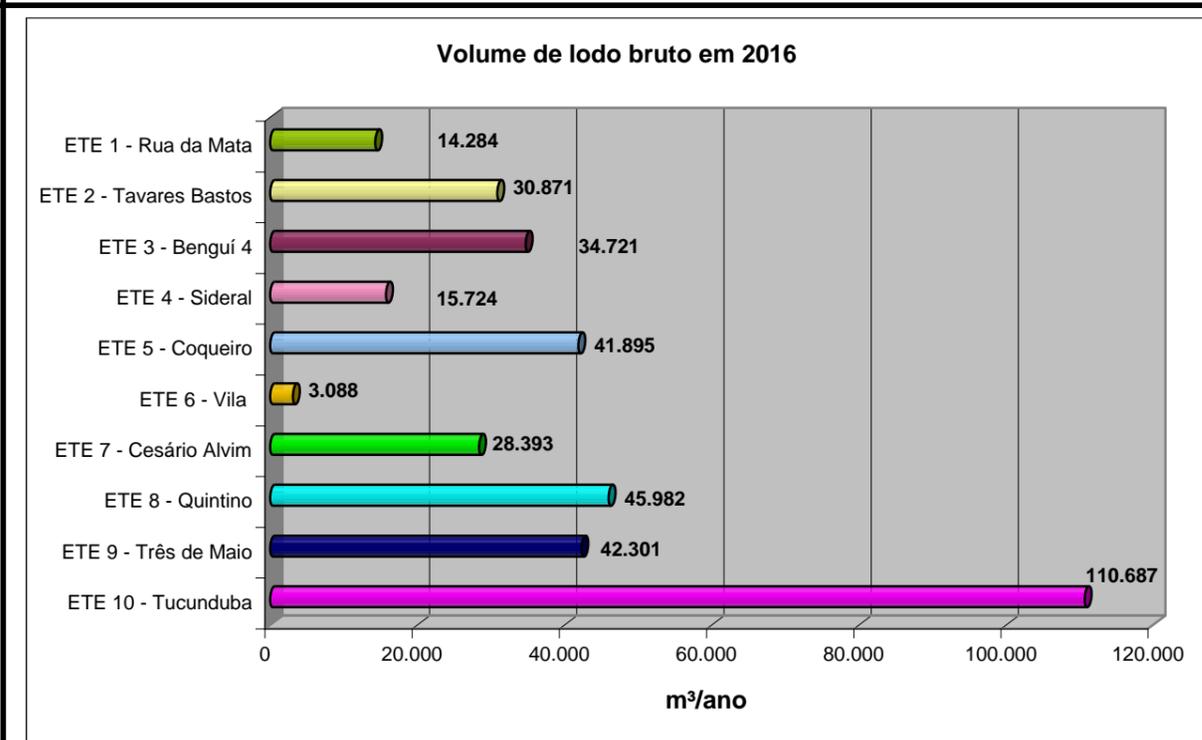


Gráfico 10 – Volume de lodo bruto da RMB em 2016.

**Volume de lodo desaguado em 2013**

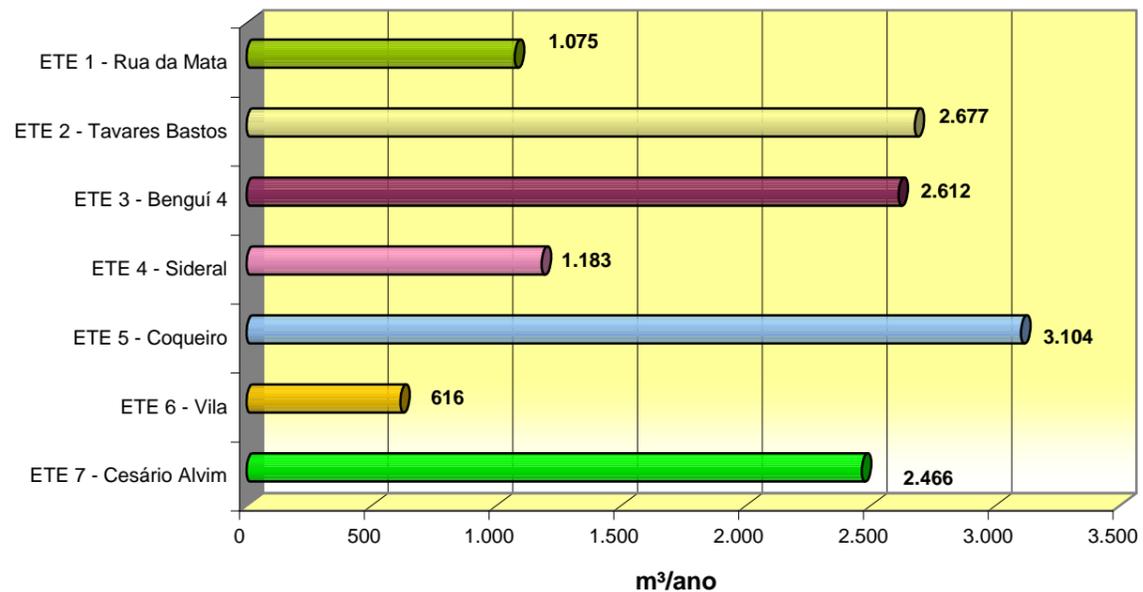


Gráfico 11 – Volume de lodo após desaguamento em 2013

**Volume de lodo desaguado em 2014**

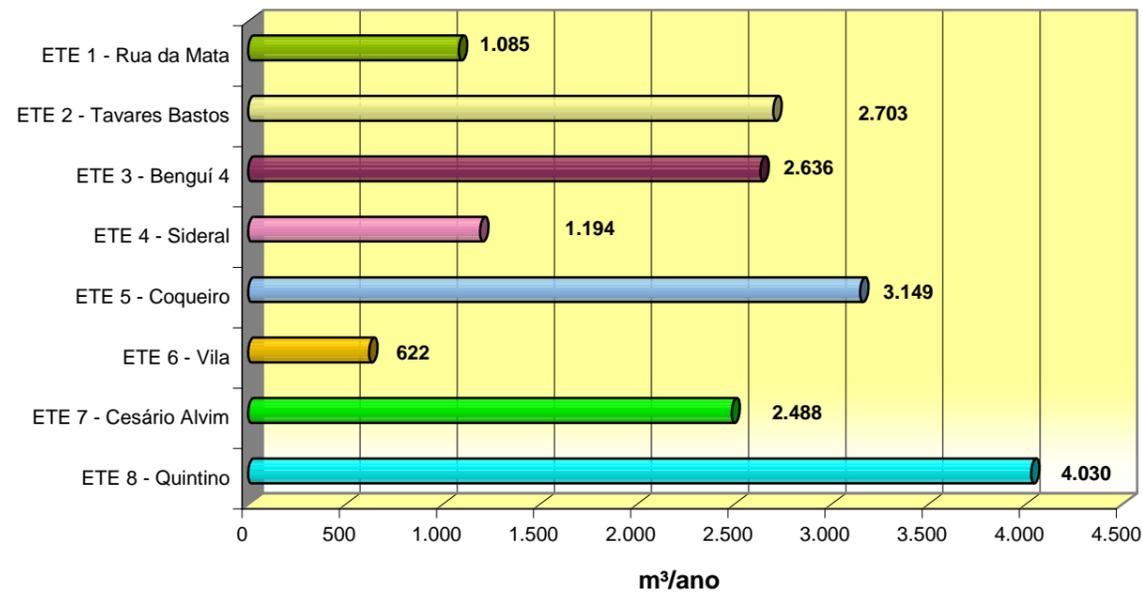


Gráfico 12 – Volume de lodo após desaguamento em 2014.

**Volume de lodo desaguado em 2015**

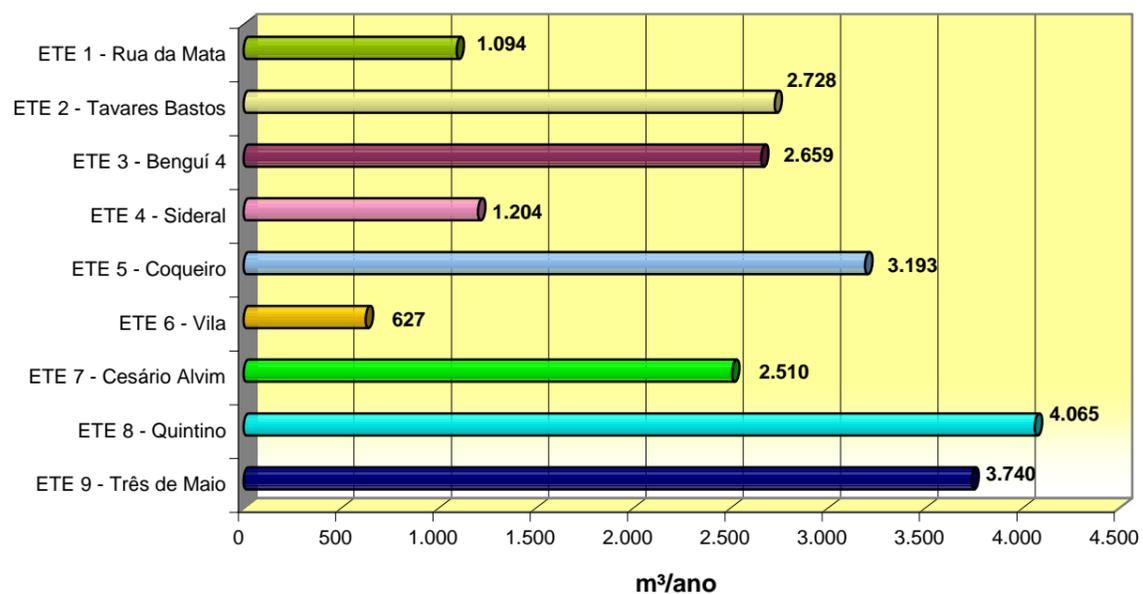


Gráfico 13 – Volume de lodo após desaguamento em 2015.

**Volume de lodo desaguado em 2016**

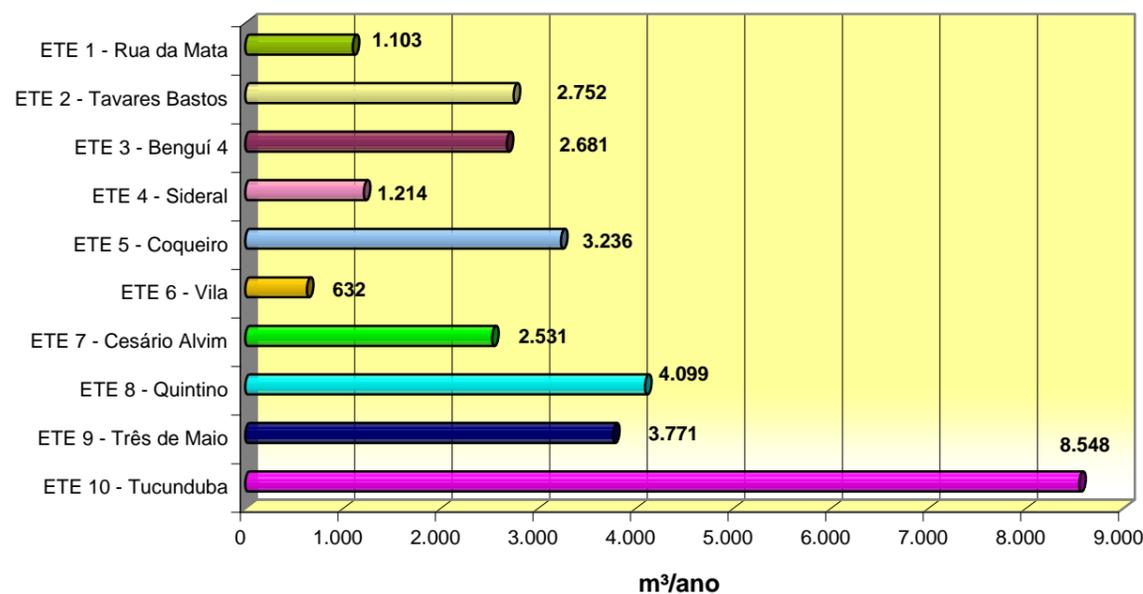


Gráfico 14 – Volume de lodo após desaguamento em 2016.

### **3. Volume de lodo produzido pelas ETEs na RMB no período de 2017 a 2020.**

No período de 2017 a 2020 é previsto o início da operação de 4 novas ETEs, no caso Una, Martir, Mata Fome, Água Boa.

Em 2017 (\_Gráfico 15) iniciará a operação da ETE Una no município de Belém, que produzirá o maior volume de lodo bruto cerca de 129.374 m<sup>3</sup>/ano. Essa ETE e a ETE Tucunduba possuem volume muito superior as outras ETEs nesse ano.

No ano 2018 (\_Gráfico 16), entrará em funcionamento a ETE Mártir também no município de Belém, esta ETE produzirá nesse ano 33.510 m<sup>3</sup>/ano de lodo bruto.

No ano 2019 (\_Gráfico 17), entrará em funcionamento no município de Belém a ETE Mata Fome, essa ETE produzirá nesse ano o maior volume de lodo bruto cerca de 132.863 m<sup>3</sup>/ano. Essa ETE assim como as ETEs Tucunduba, Una e Mártir possuem valor superior ao resto das ETEs existentes nesse ano.

Já no ano 2020 (\_Gráfico 18), entrará em funcionamento em Outeiro que é distrito de Belém, a ETE Água Boa, com a produção anual de lodo bruto para esse ano de 2.851 m<sup>3</sup>/ano. Essa ETE passará a ser a que menos produzirá lodo na RMB.

O lodo gerado pelas ETEs Una, Mártir, Mata Fome, Água Boa, se forem desaguados em leito de secagem reduzirão seu volume para:

- 2017 – ETE Una – 11.533 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 19);
- 2018 – ETE Una – 11.622 m<sup>3</sup>/ano e ETE Mártir – 2.588 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 20);
- 2019 – ETE Una – 11.708 m<sup>3</sup>/ano, ETE Mártir – 2.615 m<sup>3</sup>/ano e ETE Mata Fome 11.232 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 21);
- 2020 – ETE Una – 11.792 m<sup>3</sup>/ano, ETE Mártir – 2.641, ETE Mata Fome – 11.315 m<sup>3</sup>/ano e ETE Água Boa - 584 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 22).

A ETE vila que de 2017 (\_Gráfico 19) a 2019 (\_Gráfico 21) será a que possui menor volume de lodo. O volume de lodo bruto dessa ETE será 3.113, 3.137 e 3.160 m<sup>3</sup>/ano e seu volume após desaguamento será 637, 642 e 647 m<sup>3</sup>/ano.

Mas com a instalação da ETE Água Boa em 2020 (\_Gráfico 22), o menor volume de lodo será produzido por essa ETE, seu volume de lodo bruto nesse ano será 2.851 m<sup>3</sup>/ano e após desaguamento reduzirá para 584 m<sup>3</sup>/ano.

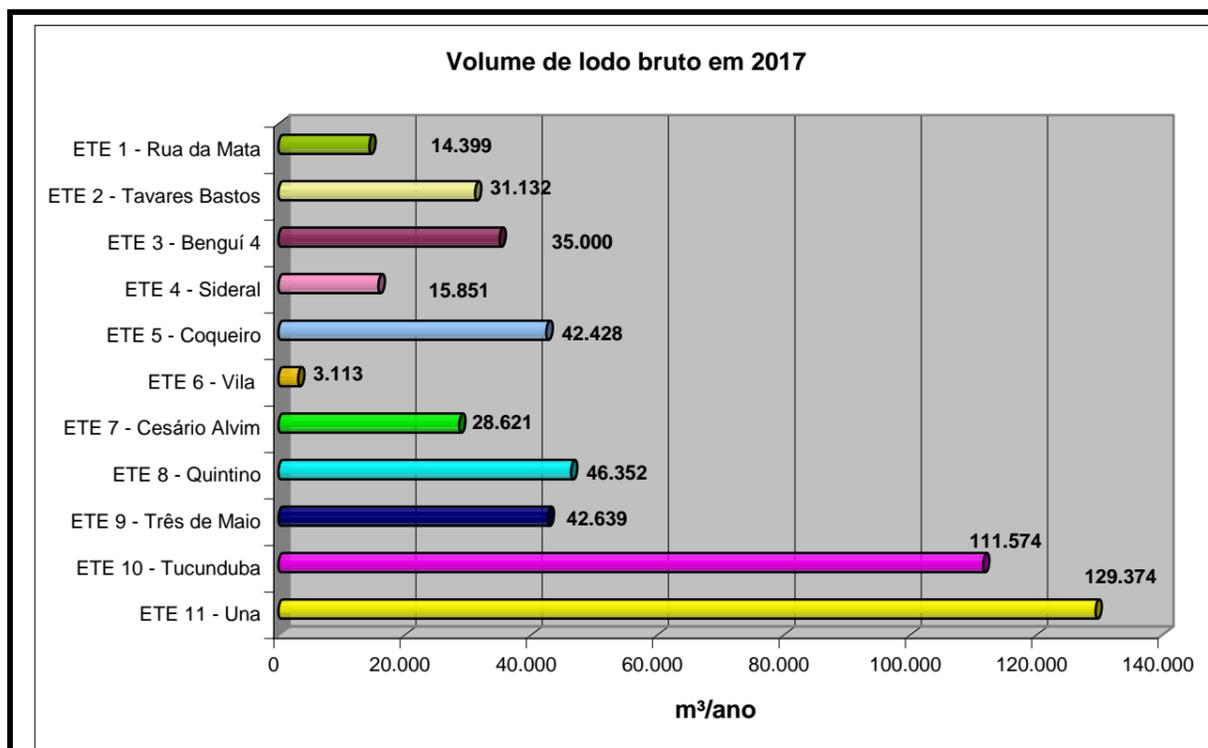


Gráfico 15 – Volume de lodo bruto na RMB em 2017.

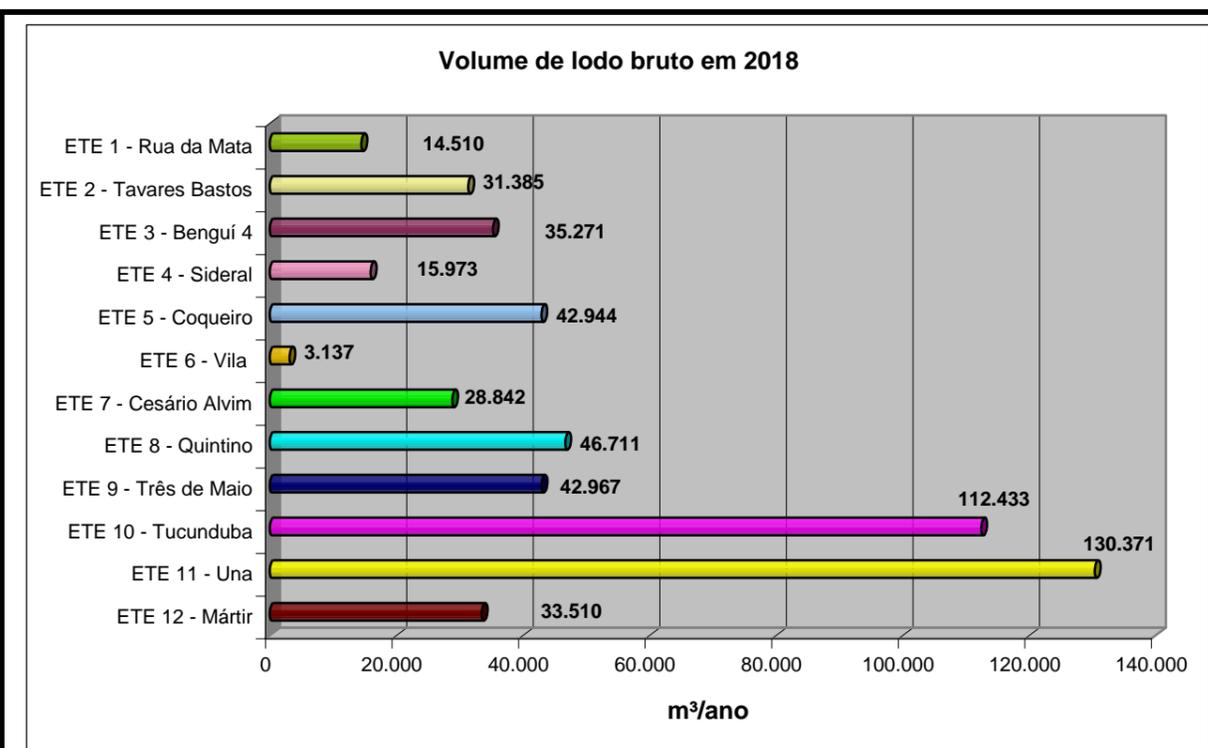


Gráfico 16 – Volume de lodo bruto na RMB em 2018.

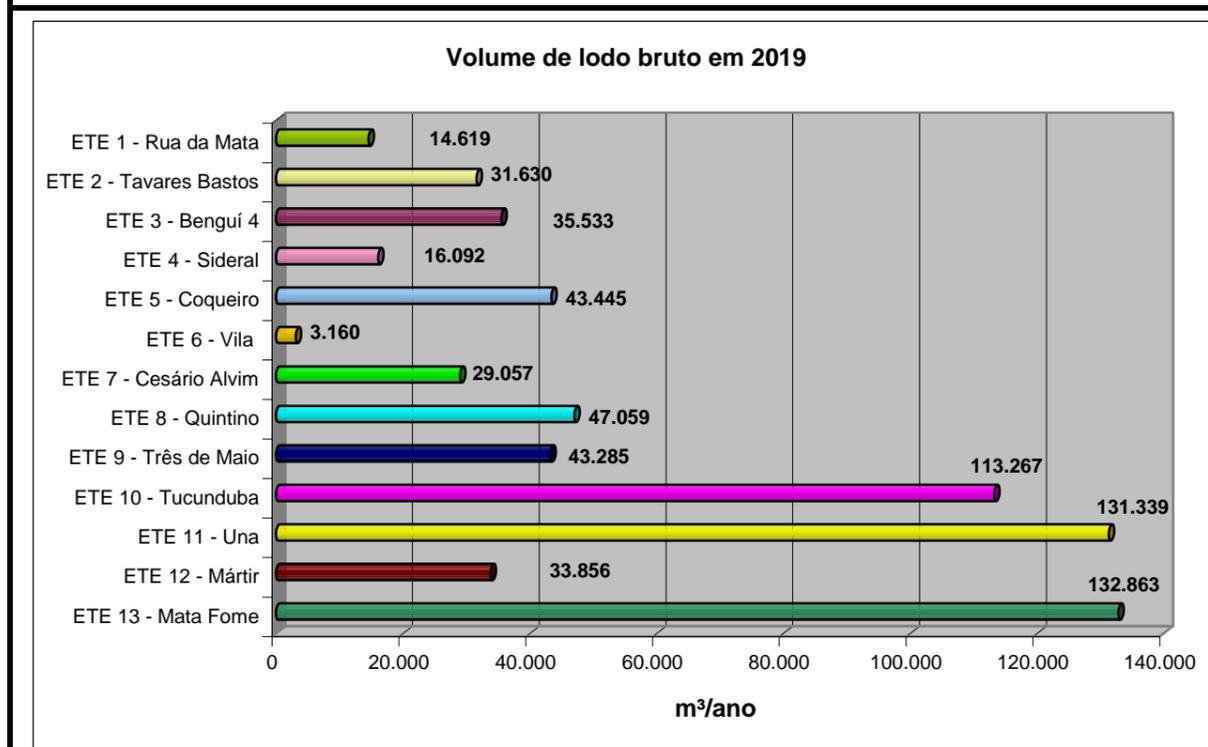


Gráfico 17 – Volume de lodo bruto na RMB em 2019.

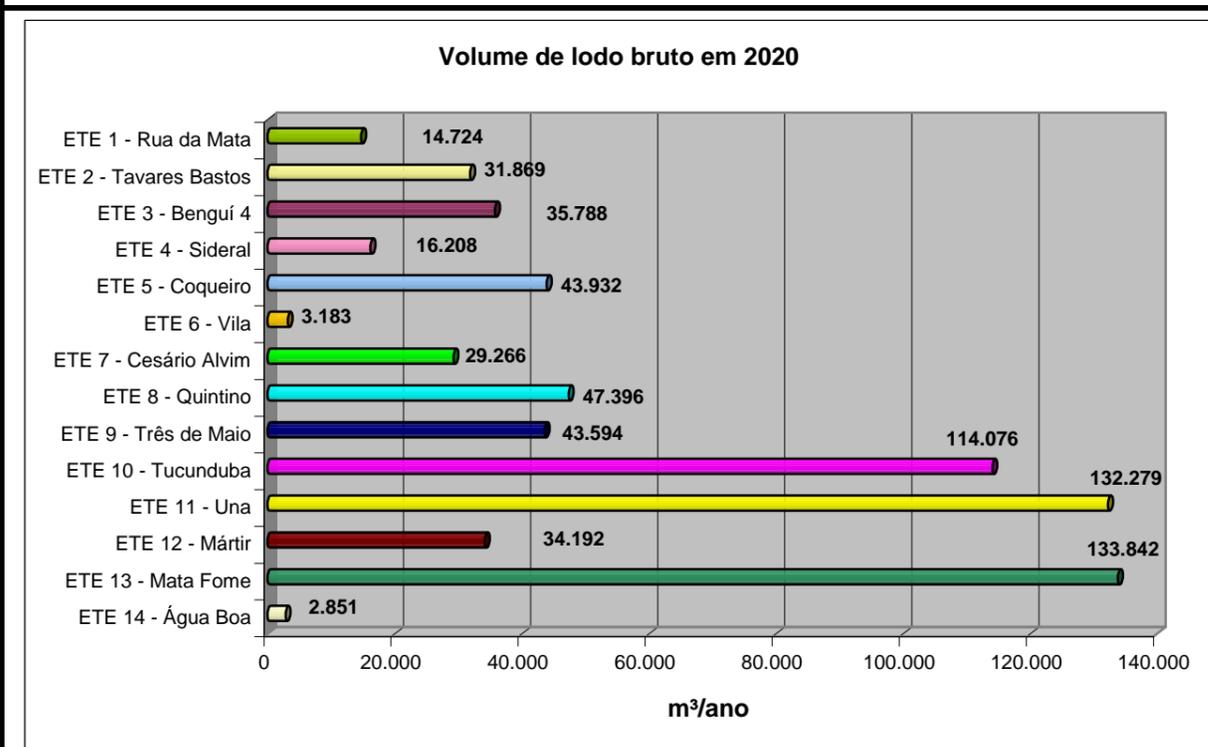


Gráfico 18 – Volume de lodo bruto na RMB em 2020.

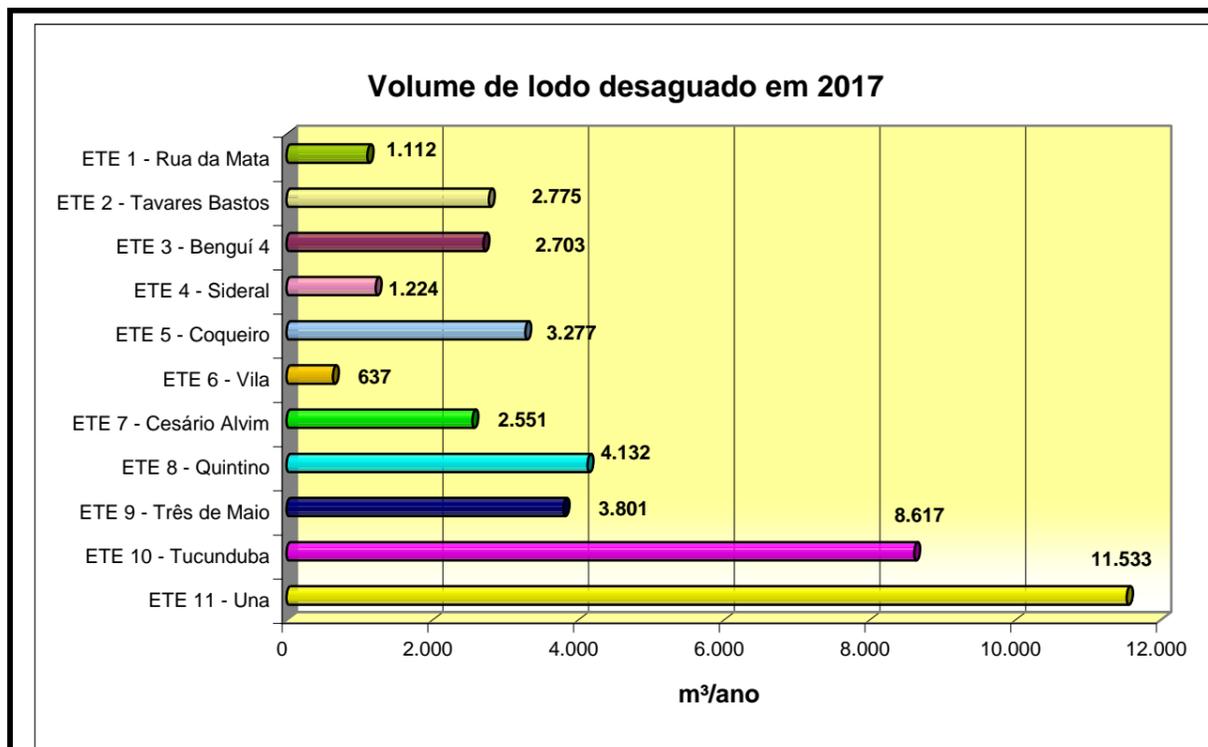


Gráfico 19 – Volume de lodo após desaguamento em 2017

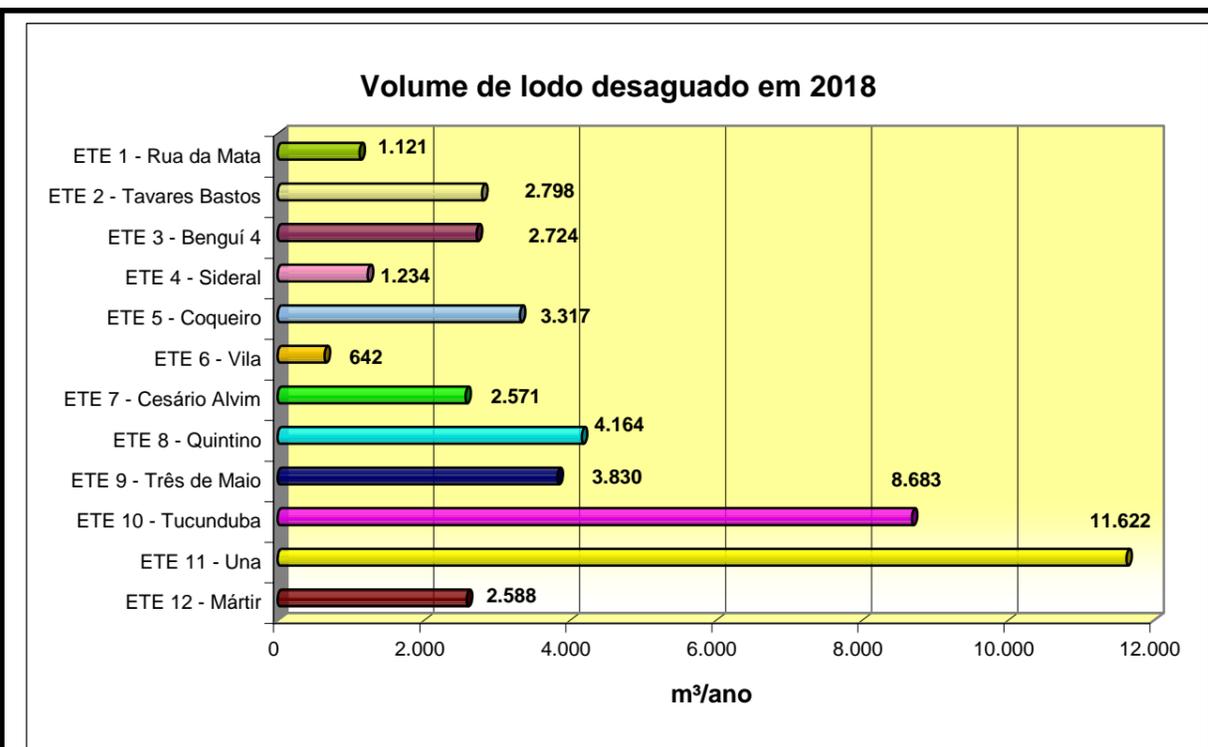


Gráfico 20 – Volume de lodo após desaguamento em 2018.

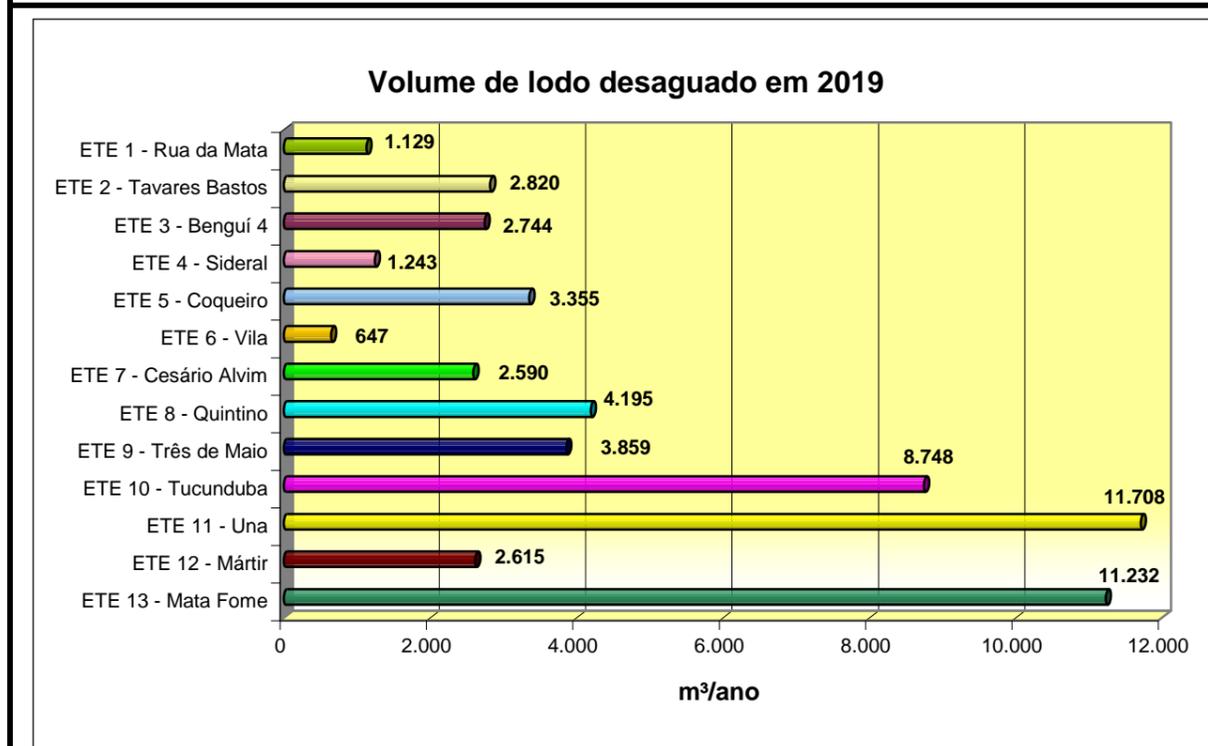


Gráfico 21 – Volume de lodo após desaguamento em 2019.

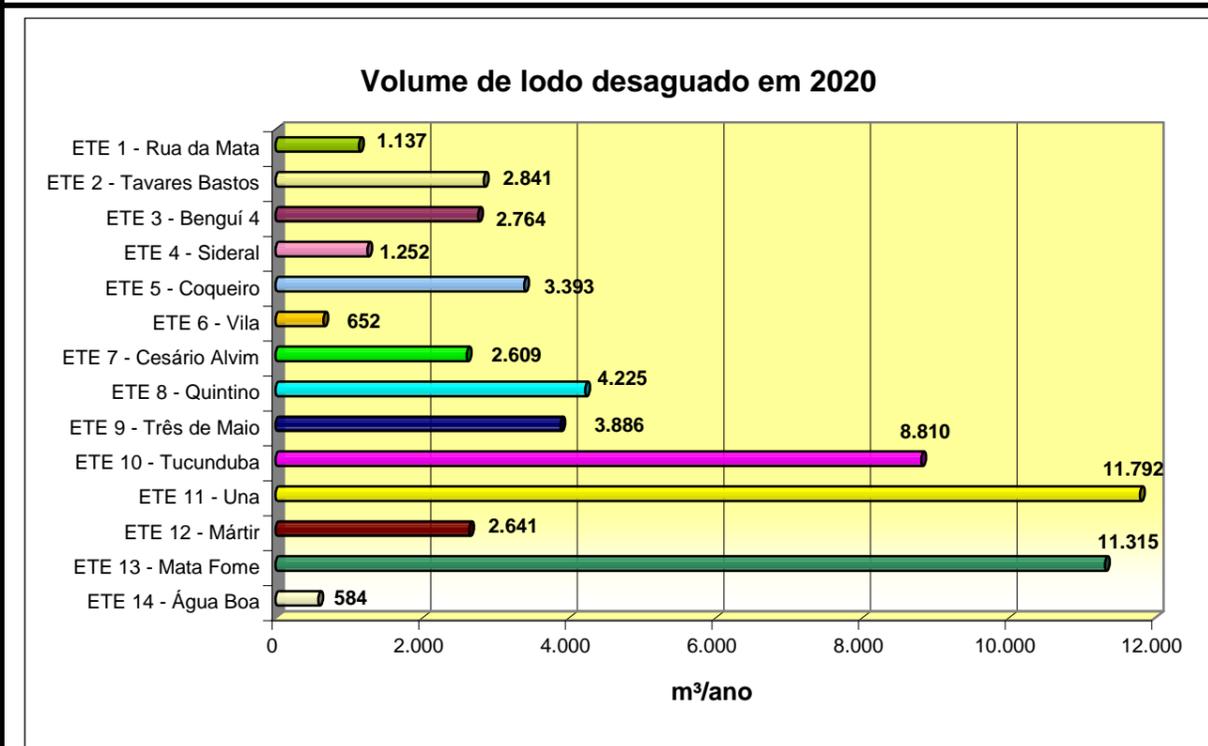


Gráfico 22 – Volume de lodo após desaguamento em 2020.

#### **4. Volume de lodo produzido pelas ETEs na RMB no período de 2021 a 2024.**

No período de 2021 a 2024 é previsto o início da operação de 4 novas ETEs na RMB, ETEs Paraíso, Jader Barbalho, Ariri, Benevides.

A ETE Paraíso entrará em funcionamento no ano 2021, na ilha de Mosqueiro. Essa ETE terá produção anual de lodo bruto variando de 445 a 470 m<sup>3</sup> no período de 2021 (\_Gráfico 23) a 2024 (\_Gráfico 26), sendo assim a ETE com menor produção de lodo nesses período. Seu volume chega a ser bem inferior aos das ETEs Mata Fome, Una, Ariri e Tucunduba.

No ano 2022 entrará em funcionamento no Município de Ananindeua a ETE Jardim Jader Barbalho, e seu volume anual de lodo bruto no período de 2022 (\_Gráfico 24) a 2024 (\_Gráfico 26), irá variar de 87.982 a 94.113 m<sup>3</sup>/ano.

Já no ano de 2023 (\_Gráfico 25), entrará em funcionamento também no município de Ananindeua a ETE Ariri. Seu volume de lodo bruto nesse ano e no ano 2024 (\_Gráfico 26) será 131.029 e 135.301 m<sup>3</sup>/ano.

E no ano 2024 (\_Gráfico 26) entrará em funcionamento a ETE Benevides, de acordo com seu nome essa ETE será instalada no município de Benevides, com produção de lodo bruto para 2024 igual a 14.907 m<sup>3</sup>/ano.

Nos anos de 2021 a 2022 as ETEs com maior volume de lodo são as ETEs Mata Fome, ETE Una e Tucunduba com seu volume variando de 136.431, 134.736 e 116.217 m<sup>3</sup>/ano respectivamente a 139.019, 137.247 e 118.357 m<sup>3</sup>/ano. Mas a partir de 2023 deve ser incluída as ETEs com maior produção de lodo a ETE Ariri que em 2023 e 2024 apresentaram um volume de 131.029 e 135.301 respectivamente. E a ETE com menor produção de lodo nesse período é a Paraíso com seu volume variando de 445 a 470 m<sup>3</sup>/ano.

O lodo dessas ETEs Paraíso, Jader Barbalho, Ariri, Benevides se forem desaguados em leito de secagem reduziram seu volume para:

- 2021 - ETE Paraíso – 91 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 27);
- 2022 - ETE Jardim Jader Barbalho – 7.843m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 28);
- 2023 – ETE Ariri – 11.077 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 29);
- 2024 – ETE Benevides – 1.329 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 30).

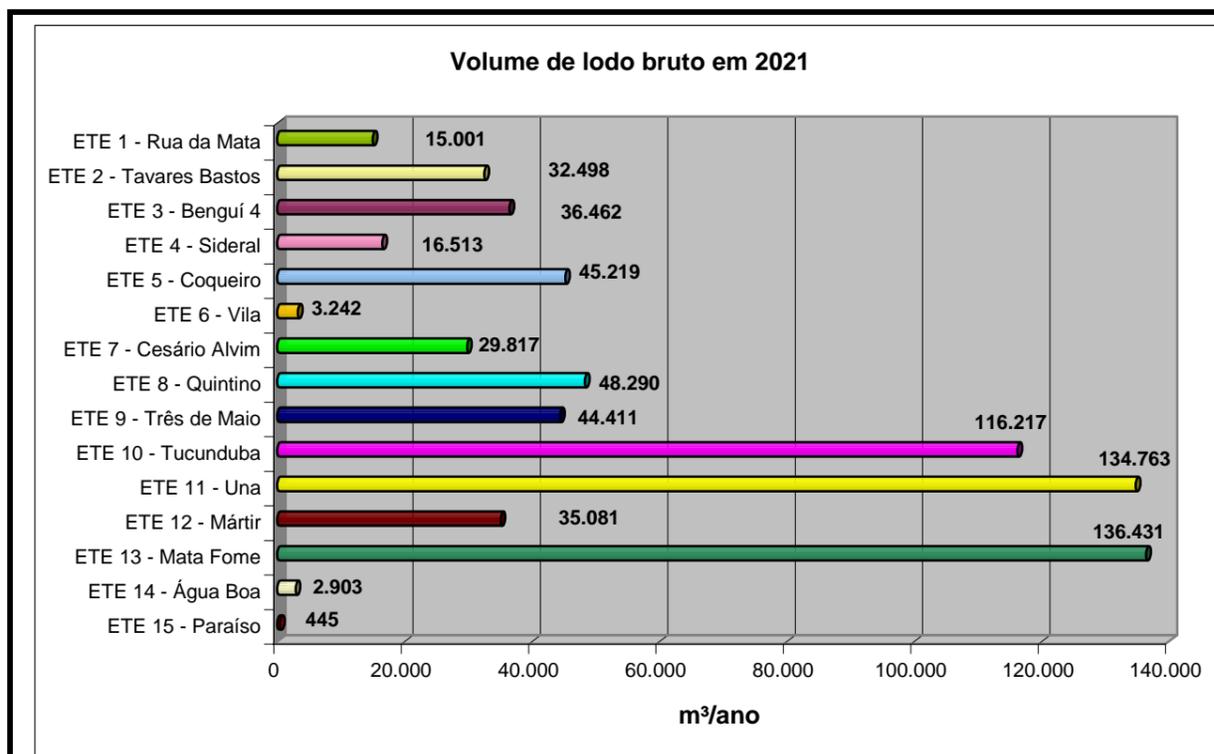


Gráfico 23 – Volume de lodo bruto na RMB em 2021

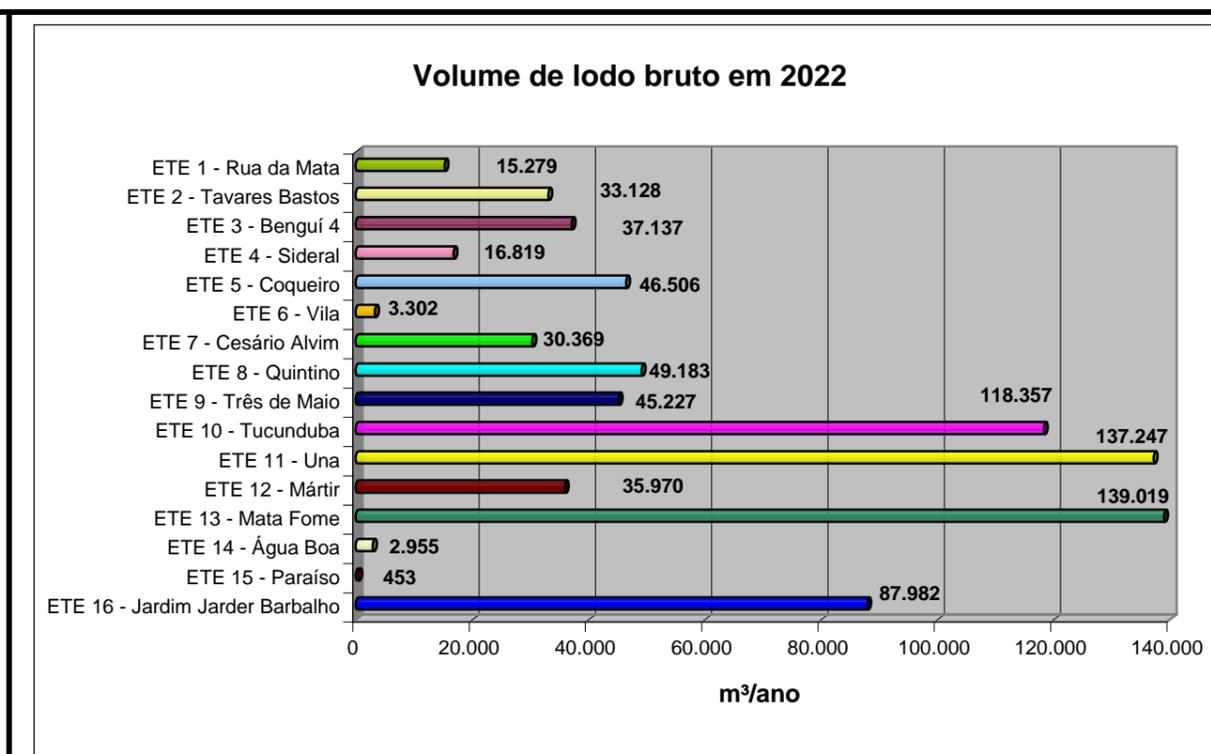


Gráfico 24 – Volume de lodo bruto na RMB em 2022.

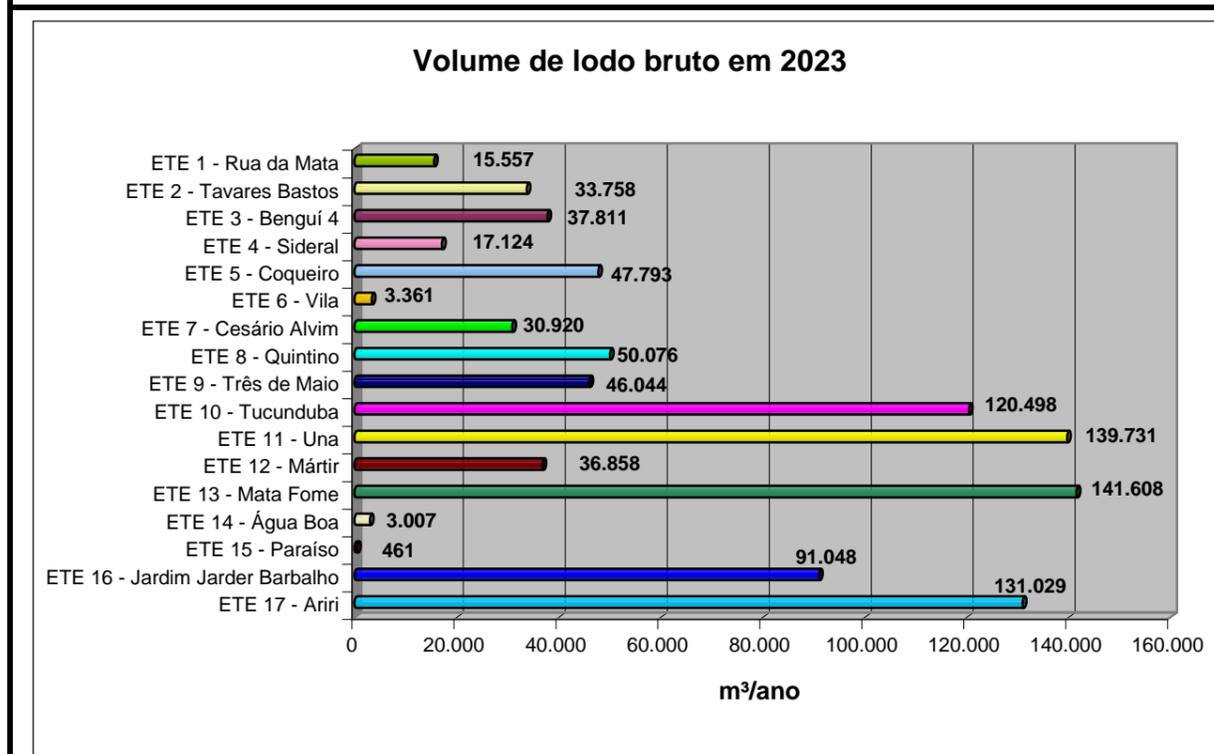


Gráfico 25 – Volume de lodo bruto na RMB em 2023.

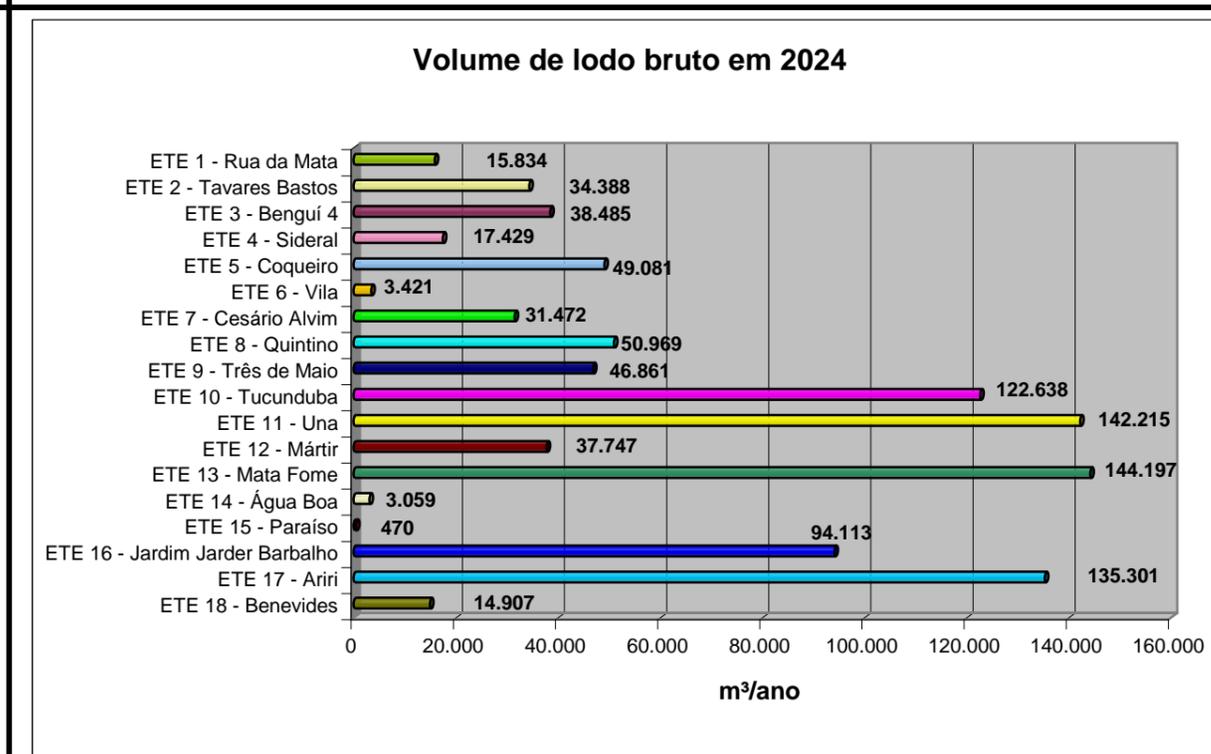
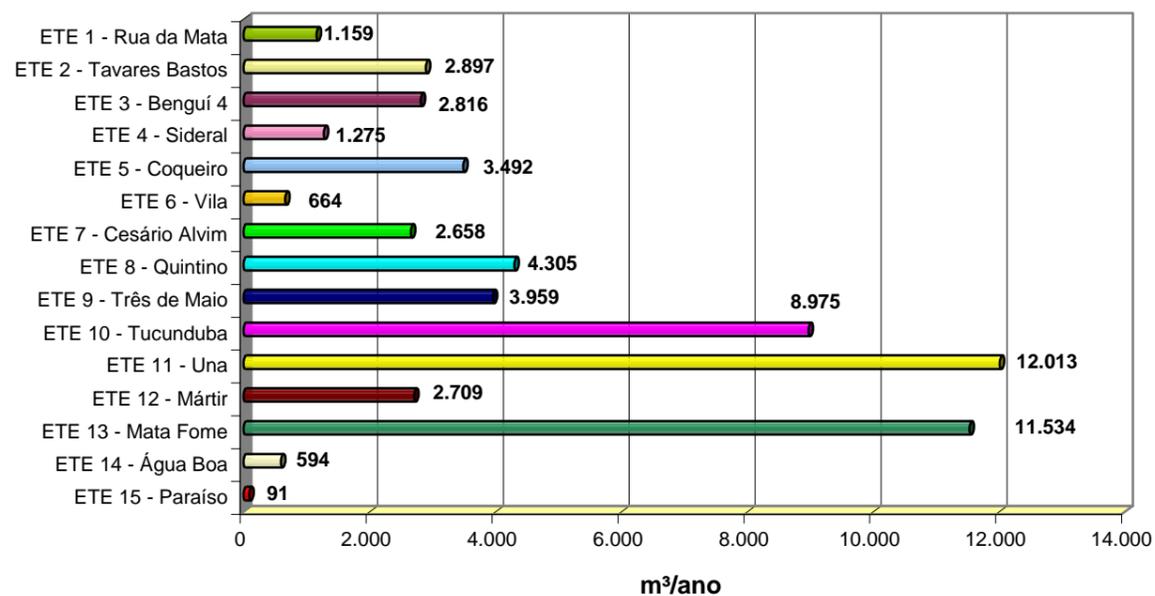


Gráfico 26 – Volume de lodo bruto na RMB em 2023.

**Volume de lodo desaguado em 2021**



**Volume de lodo desaguado em 2022**

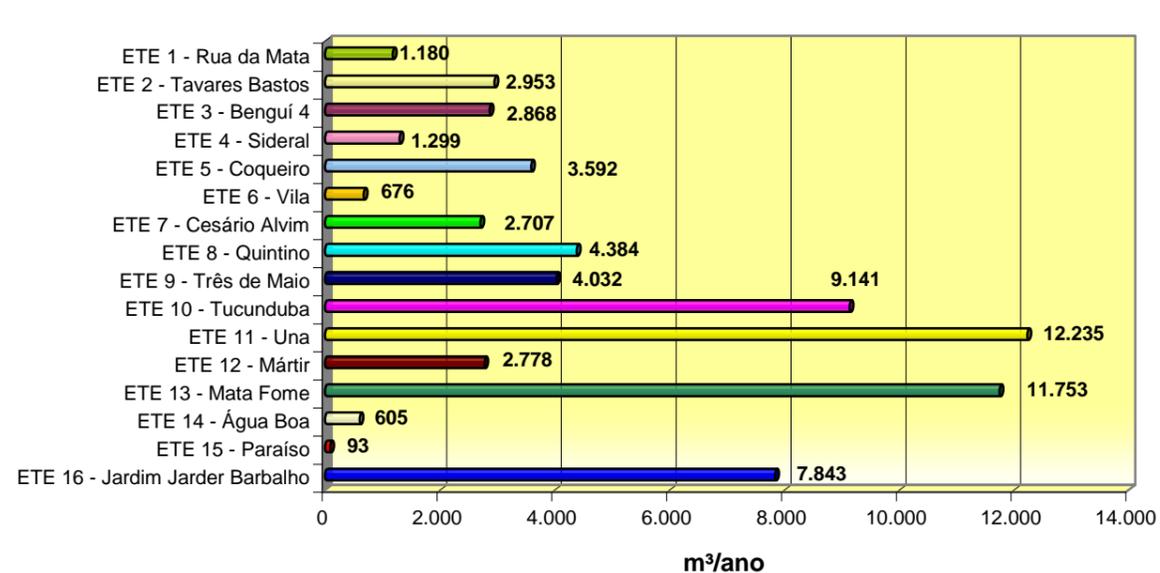
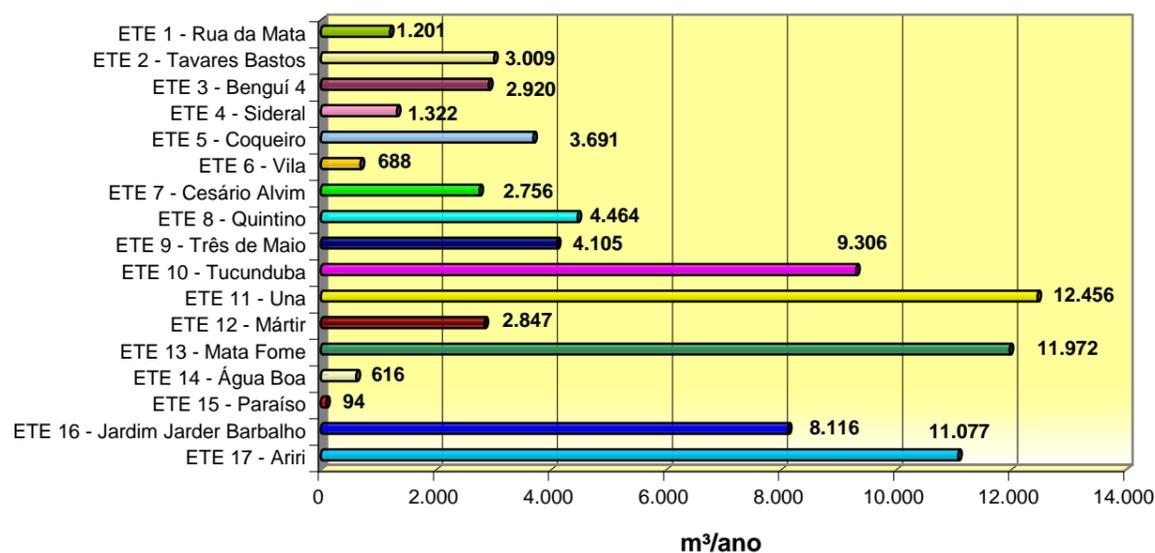


Gráfico 27 – Volume de lodo após desaguamento em 2021.

Gráfico 28 – Volume de lodo após desaguamento em 2022.

**Volume de lodo desaguado em 2023**



**Volume de lodo desaguado em 2024**

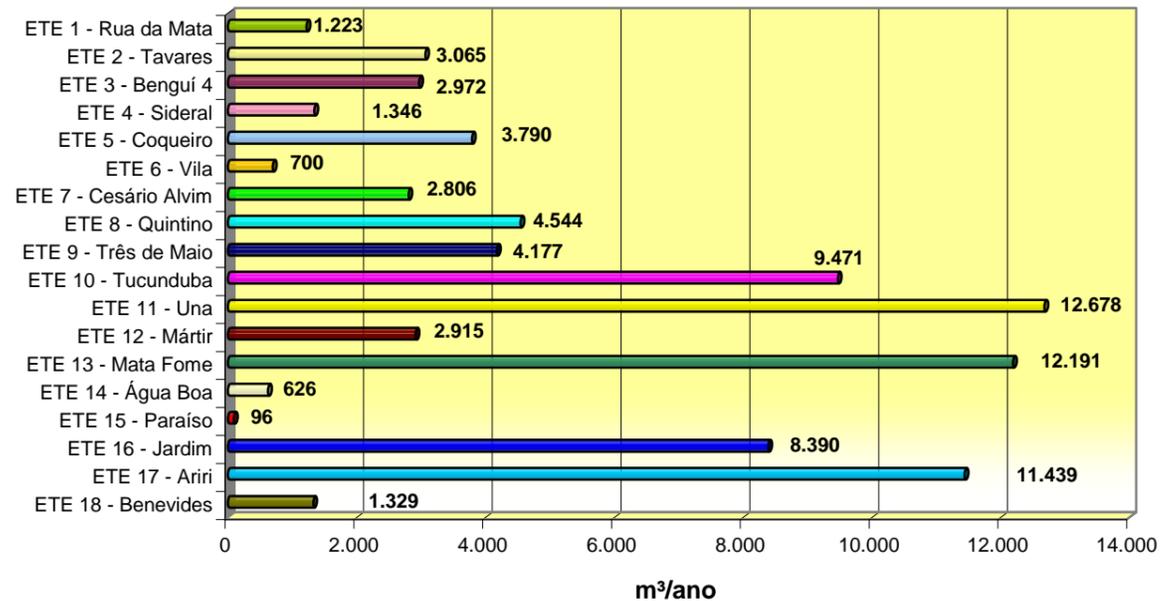


Gráfico 29 – Volume de lodo após desaguamento em 2023.

Gráfico 30 – Volume de lodo após desaguamento em 2024.

## **5. Volume de lodo produzido pelas ETEs na RMB no período de 2025 a 2028.**

No período de 2025 a 2028, é previsto o início da operação de mais 3 novas ETEs, no caso Benfica, Murimin, Santa Barbará.

No ano 2025 entrará em funcionamento a ETE Benfica. Essa ETE também pertence ao município de Benevides e sua produção de lodo bruto para esse ano será de 3.751 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 31). Nos anos de 2026 (\_Gráfico 32), 2027 (\_Gráfico 33) e 2028(\_Gráfico 34), essa ETE apresentará produção anual de lodo bruto de 3.909, 4.067 e 4.224 m<sup>3</sup> respectivamente. A ETE Benfica é a terceira estação com menor produção de lodo.

No ano 2026 será instalada a terceira estação de tratamento de esgoto no Município de Benevides em uma localidade conhecida como Murimim. A ETE receberá o nome dessa localidade e terá o volume anual de lodo bruto nos anos de 2026 (\_Gráfico 32), 2027 (\_Gráfico 33) e 2028 (\_Gráfico 34), igual a 1.328, 1.381 e 1.435 m<sup>3</sup>/ano respectivamente.

Em 2027 entrará em funcionamento no município de Santa Bárbara do Pará a estação de tratamento de esgoto com o mesmo nome do município ( ETE Santa Barbará do Pará), seu volume de lodo nos anos de 2027 (\_Gráfico 33) e 2028(\_Gráfico 34) serão respectivamente 646 e 670 m<sup>3</sup>/ano. Essa ETE apresentará a segunda menor produção de lodo em toda RMB.

No ano de 2028 (\_Gráfico 34) não será implantada nenhuma nova ETE, entretanto será ampliado o atendimento das ETEs existentes.

Nesse período 2025 (\_Gráfico 31) a 2028 (\_Gráfico 34) as ETEs com maior volume de lodo são as ETEs Mata Fome, ETE Una, ETE Ariri, e ETE Tucunduba com seu volume variando respectivamente de 146.785, 144.699, 139.573 e 124.779 m<sup>3</sup>/ano a 157.551, 155.030, 157.338 e 133.681 m<sup>3</sup>/ano. E a ETE com menor produção de lodo ainda será a ETE Paraíso com seu volume variando de 478 a 670 m<sup>3</sup>/ano.

O lodo das ETEs instaladas nesse período se forem desaguados em leito de secagem passarão a ter um volume em torno de:

- 2025 – ETE Benfica – 290 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 35);
- 2026 - ETE Benfica - 302 m<sup>3</sup>/ano e ETE Murimim – 272 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 36);
- 2027 – ETE Benfica - 314 m<sup>3</sup>/ano e ETE Murimim –283 m<sup>3</sup>/ano e Sta. Barbara do Pará – 132 m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 37);
- 2028 – ETE Benfica – 326 m<sup>3</sup>/ano e 294 ETE Murimim – 137 m<sup>3</sup>/ano e Sta. Barbara do Pará –m<sup>3</sup>/ano (\_Gráfico 38).

Vale ressaltar que apesar da ETE Mata Fome ter um volume de lodo bruto maior que a ETE Una, haverá uma redução no volume de seu lodo um pouco maior em comparação a ETE Una, fazendo com essa ETE seja a segunda estação com maior produção de lodo desaguado. Sendo Assim, no período de 2025 (\_Gráfico 35) a 2028(\_Gráfico 38), as ETEs com maior produção de lodo desaguado terão a seguinte ordem: Una, Mata Fome, Ariri e Tucunduba. O volume dessas ETEs variando de 12.899, 12.409, 11.800 e 9.637 a 13.820, 13.320, 13.302 e 10.324 m<sup>3</sup>/ano, respectivamente.

Além disso, assim como no período anterior a ETE Paraíso continuará apresentando o menor volume de lodo variando 98 a 105 m<sup>3</sup>/ano.

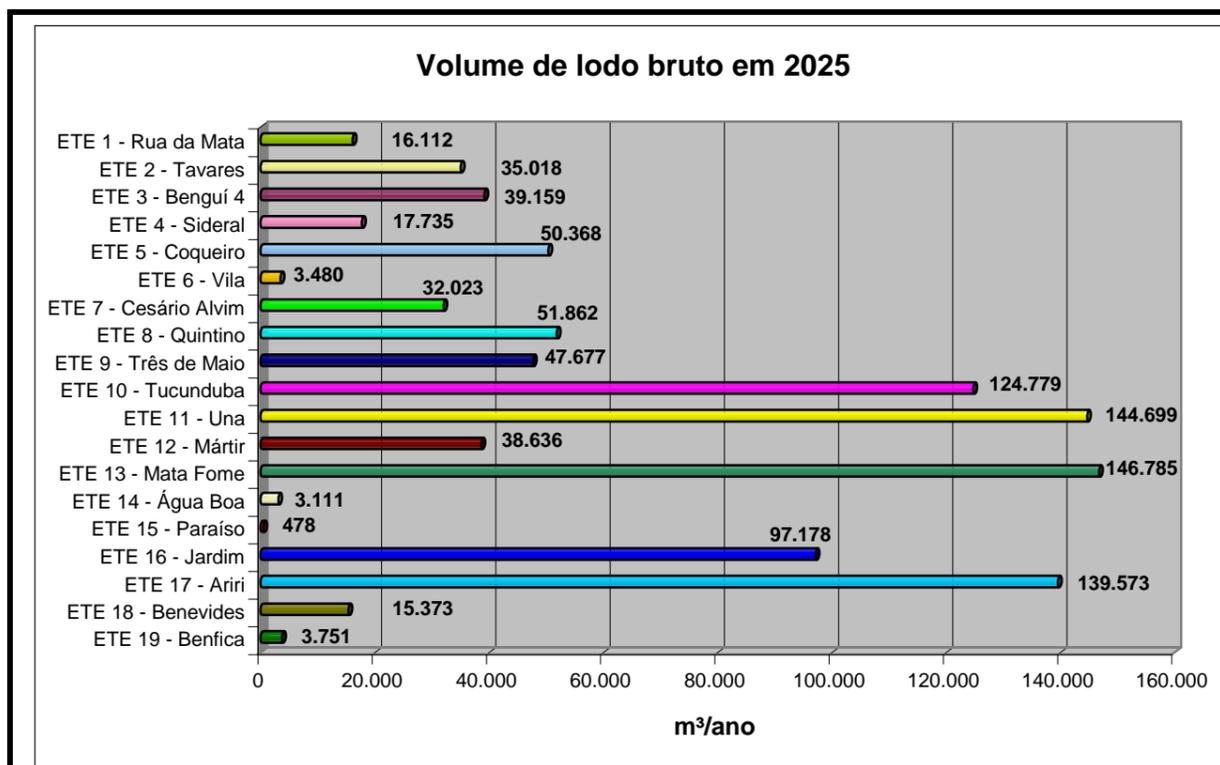


Gráfico 31 – Volume de lodo bruto na RMB em 2025

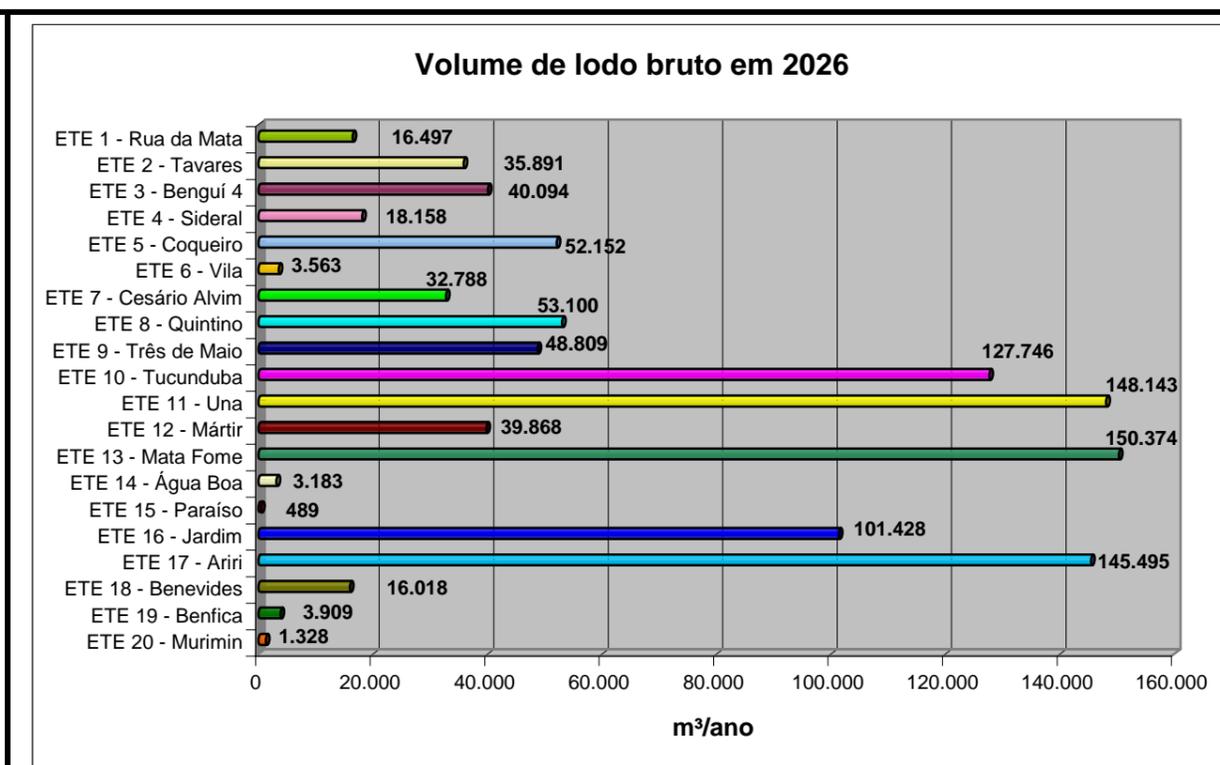


Gráfico 32 – Volume de lodo bruto na RMB em 2026.

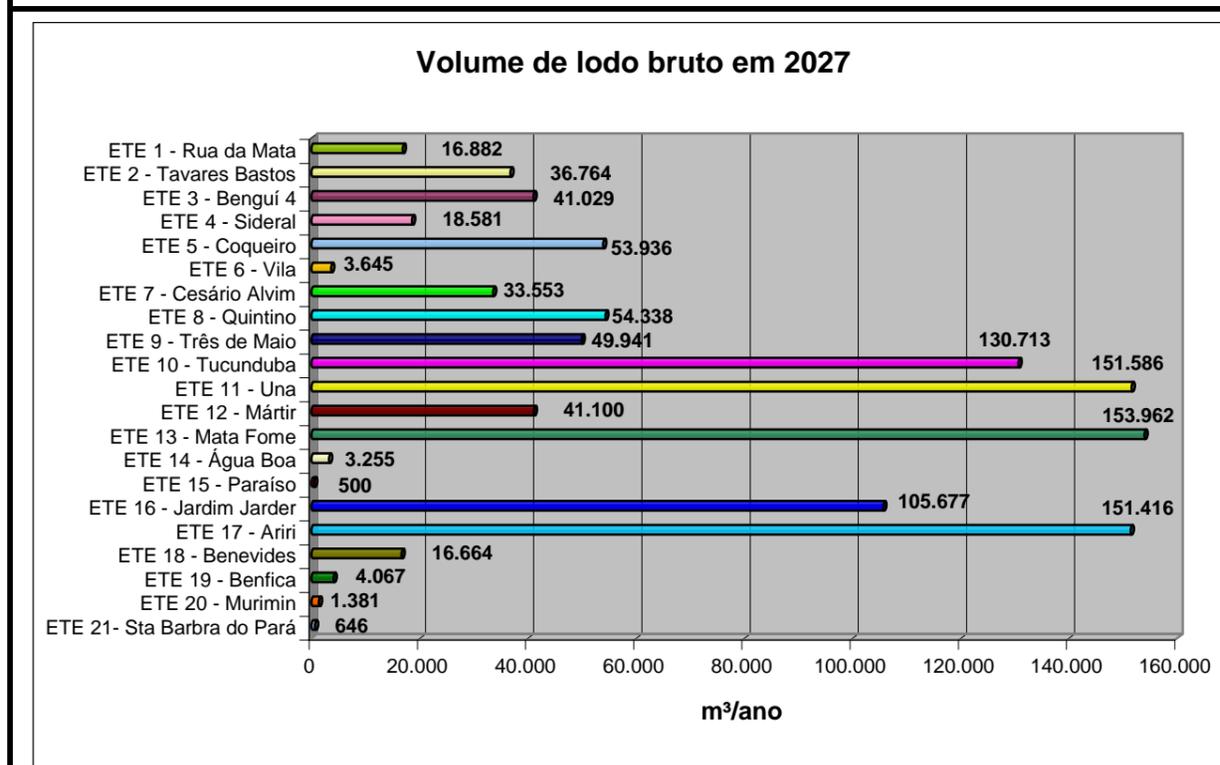


Gráfico 33 – Volume de lodo bruto na RMB em 2027.

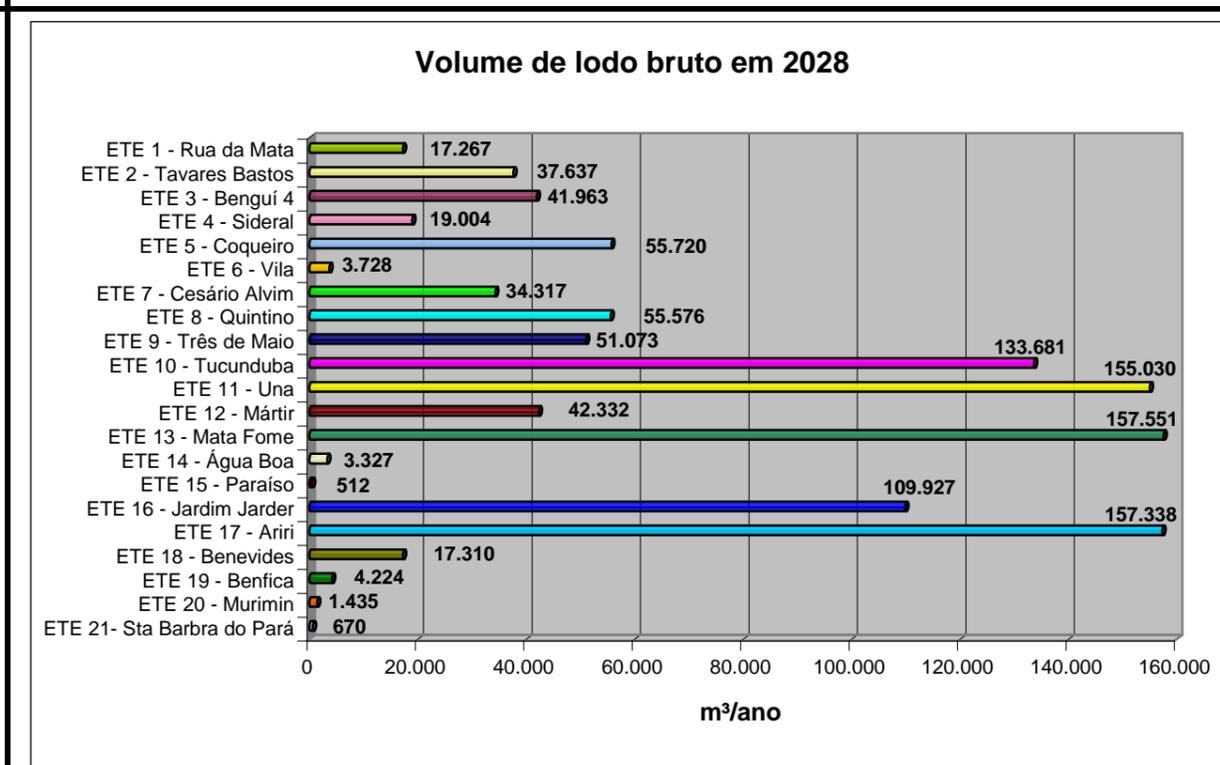
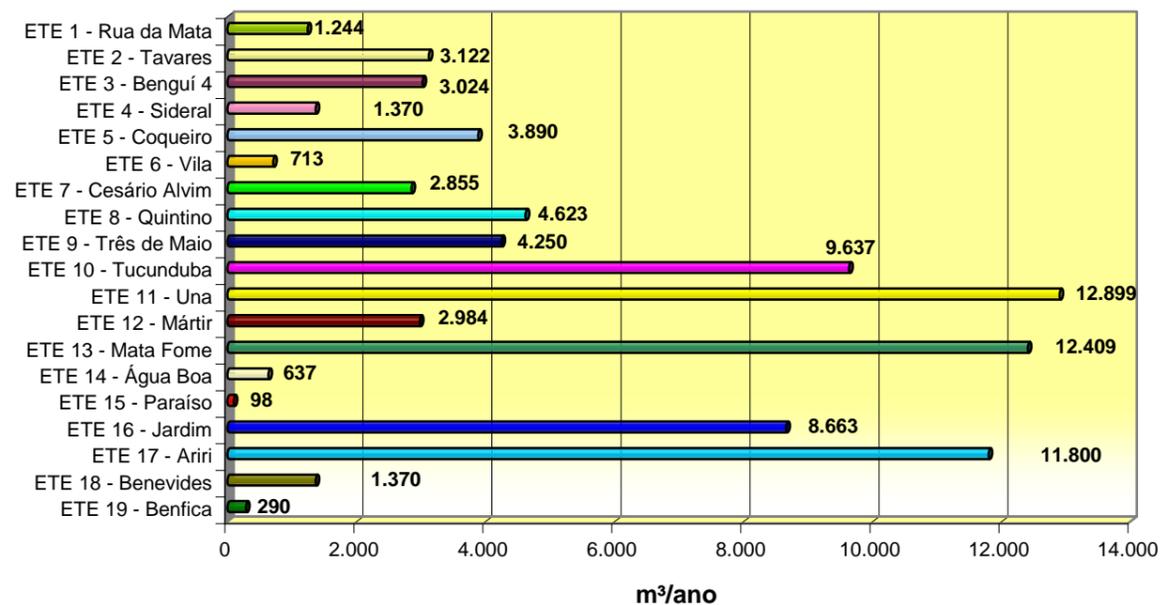


Gráfico 34 – Volume de lodo bruto da RMB em 2028.

**Volume de lodo desaguado em 2025**



**Volume de lodo desaguado em 2026**

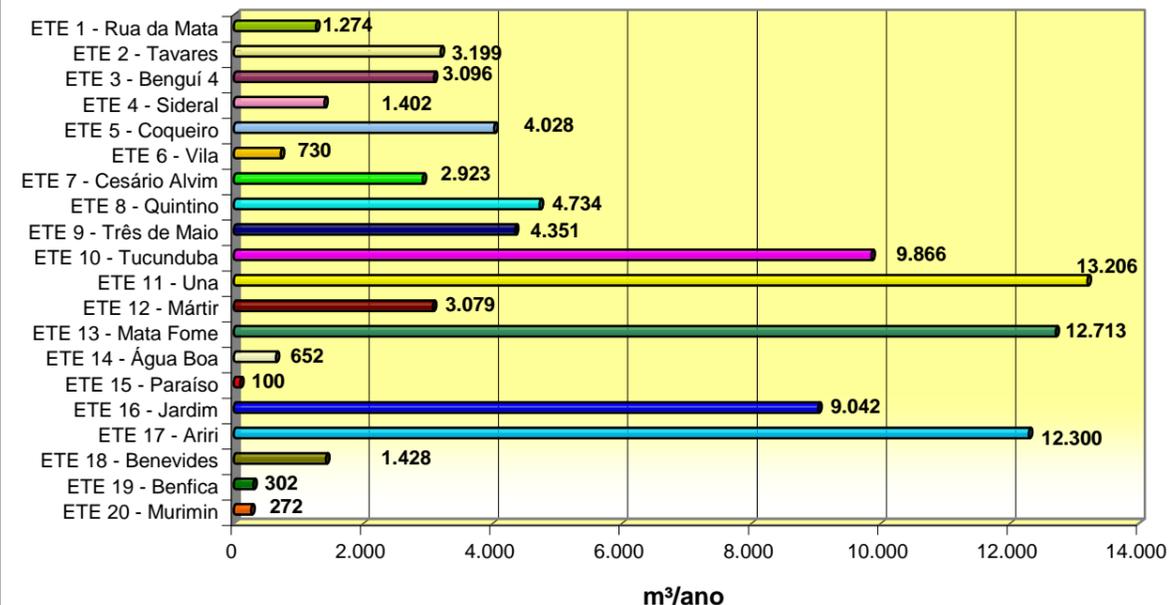
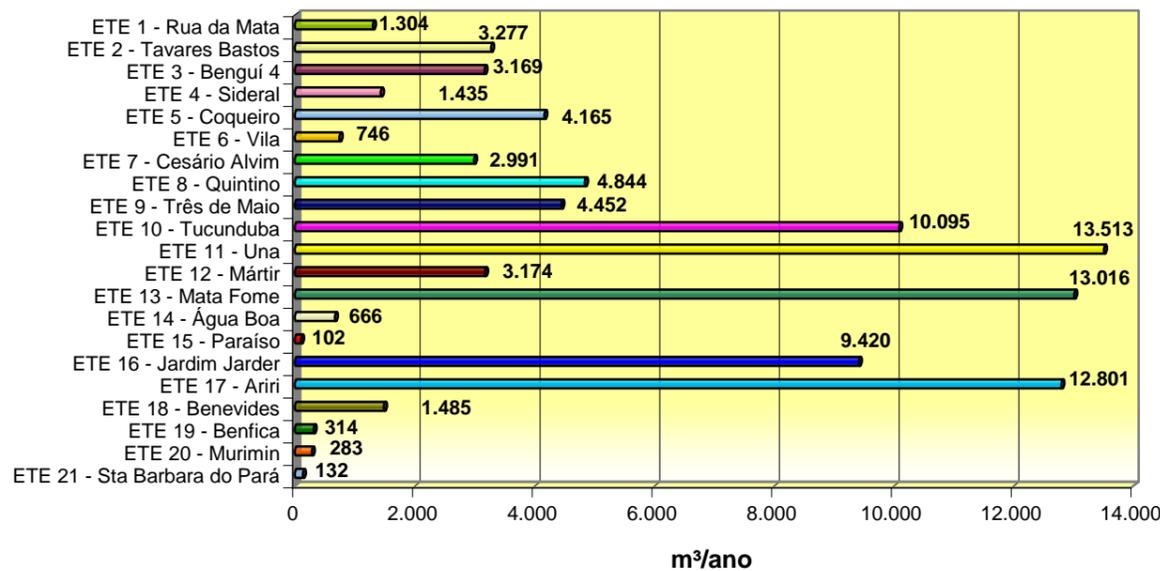


Gráfico 35 – Volume de lodo após desaguamento em leito de secagem em 2025.

Gráfico 36 – Volume de lodo após desaguamento em leito de secagem em 2026.

**Volume de lodo desaguado em 2027**



**Volume de lodo desaguado em 2028**

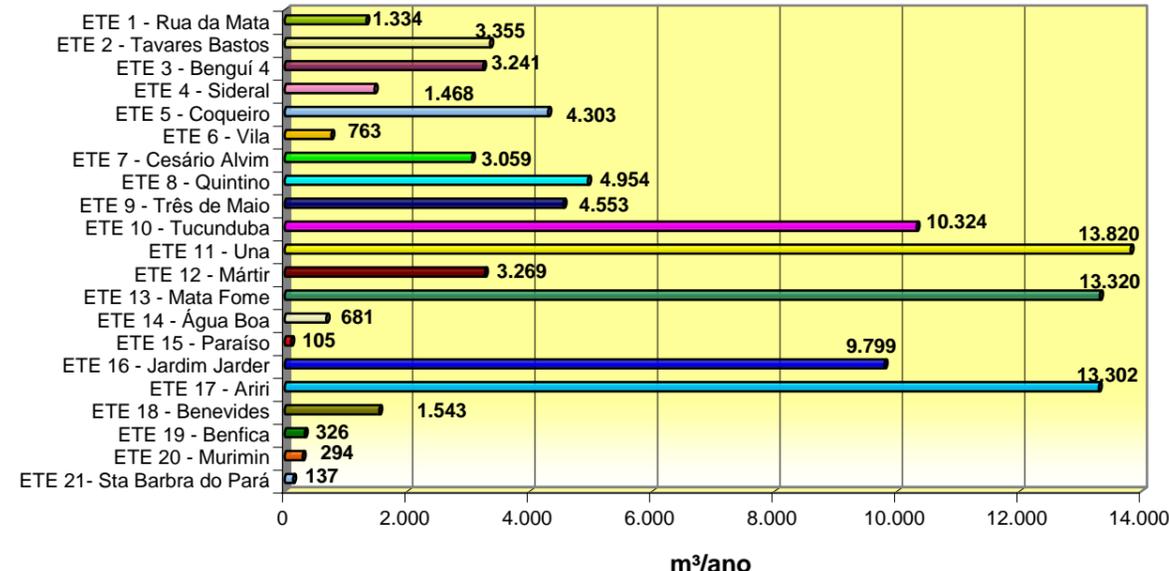


Gráfico 37 – Volume de lodo após desaguamento em leito de secagem em 2027.

Gráfico 38 – Volume de lodo após desaguamento em leito de secagem em 2028.

## **6. Volume de lodo produzido pelas ETEs na RMB nos anos de 2029 e 2030.**

No ano de 2029 e 2030 assim como no ano de 2028 não será implantada nenhuma nova ETE, entretanto será ampliado o atendimento das ETEs existentes.

No ano de 2029 o volume de lodo bruto vai variar de 523 a 163.260 m<sup>3</sup>/ano (Gráfico 39) e o volume de lodo após desaguamento em leito de secagem será (Gráfico 40) 107 a 14.127 m<sup>3</sup>/ano.

Para o ano de 2030 o volume de lodo bruto (Gráfico 41) vai variar de 534 a 169.181 m<sup>3</sup>/ano e o volume de lodo após desaguamento em leito de secagem será (Gráfico 42) será 109 a 14.434 m<sup>3</sup>/ano.

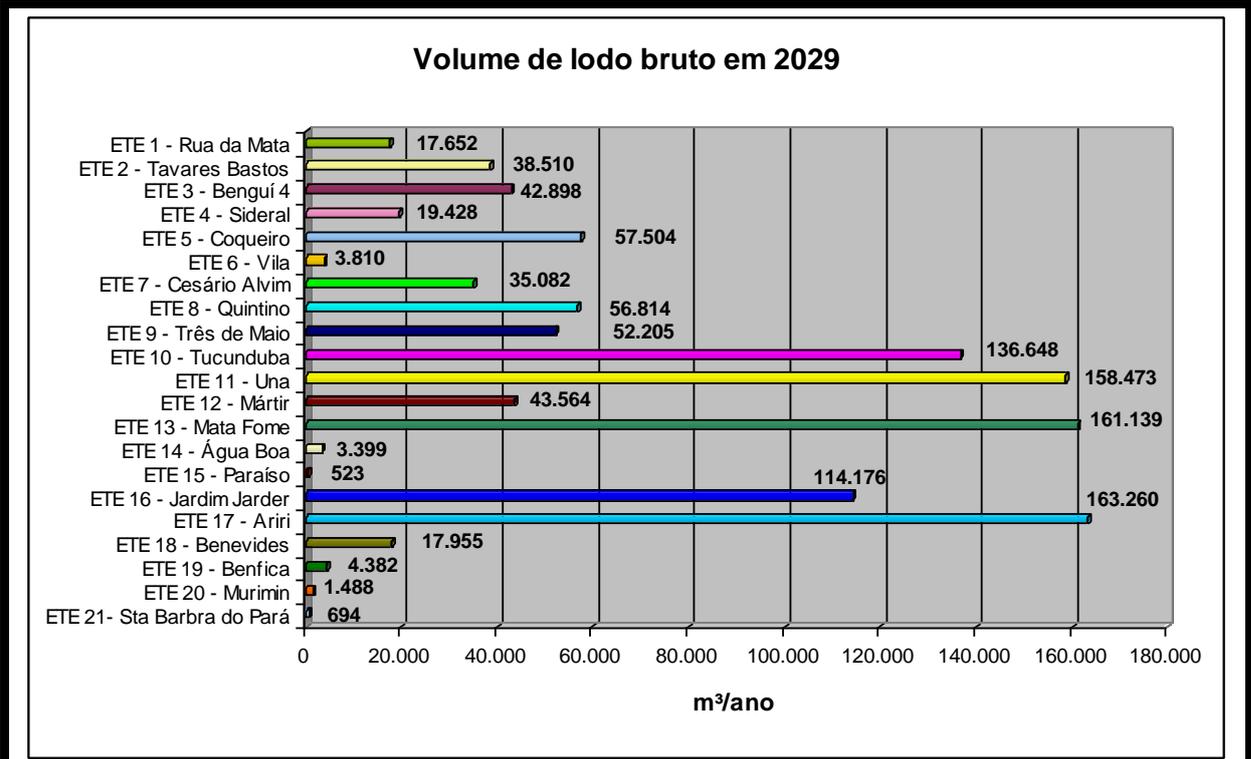


Gráfico 39 – Volume de lodo bruto na RMB em 2029.

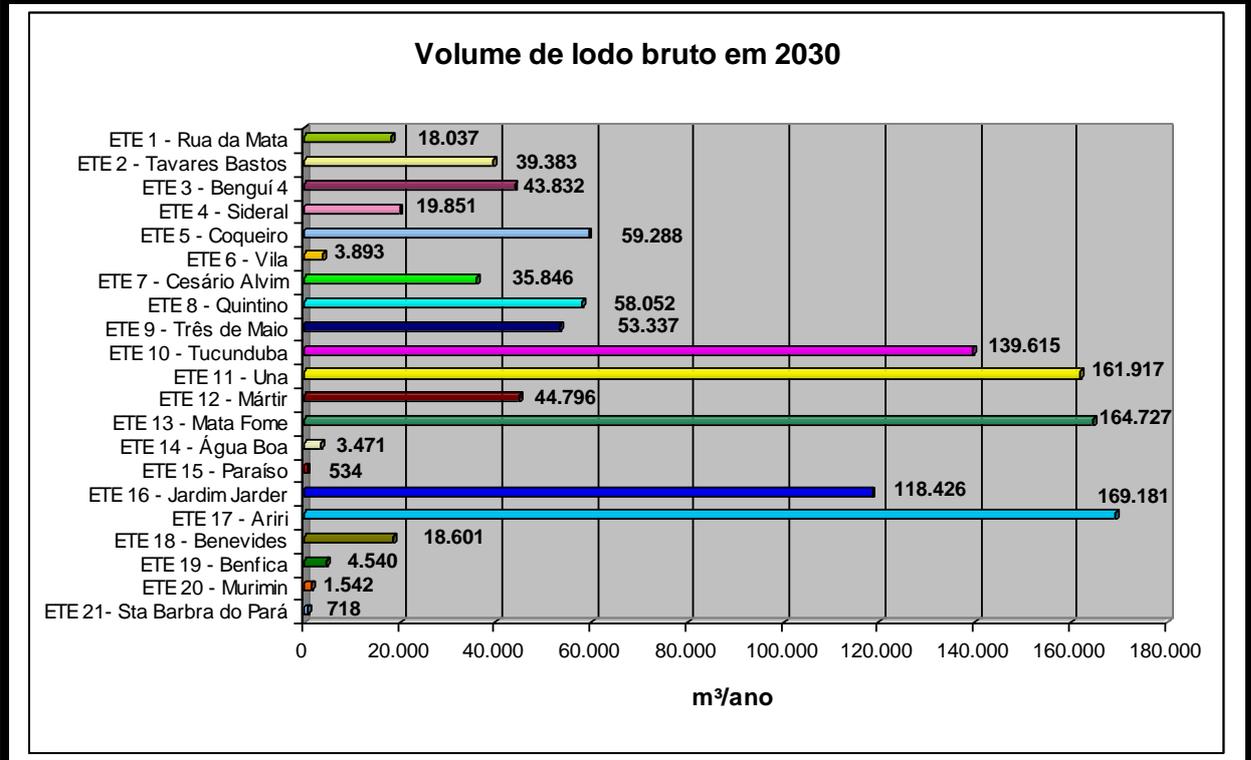


Gráfico 40 – Volume de lodo bruto na RMB em 2030.

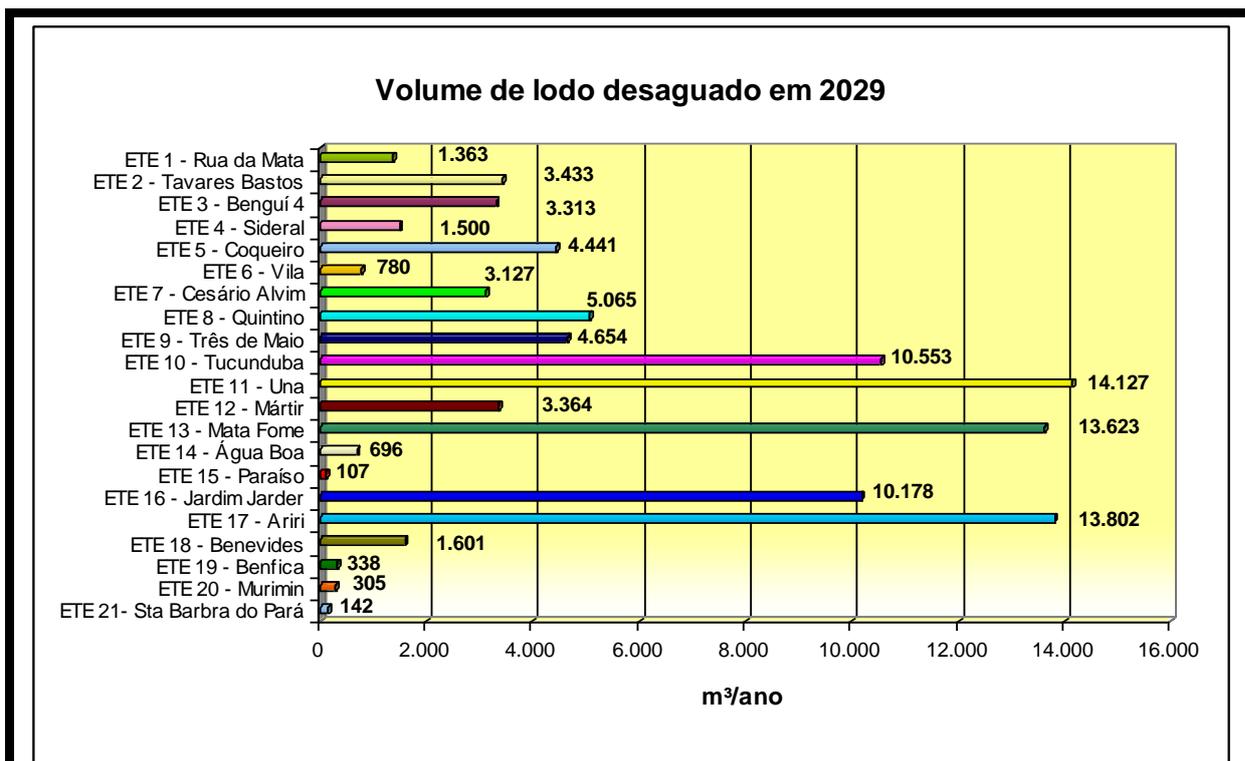


Gráfico 41 – Volume de lodo após desaguamento em leito de secagem em 2029.

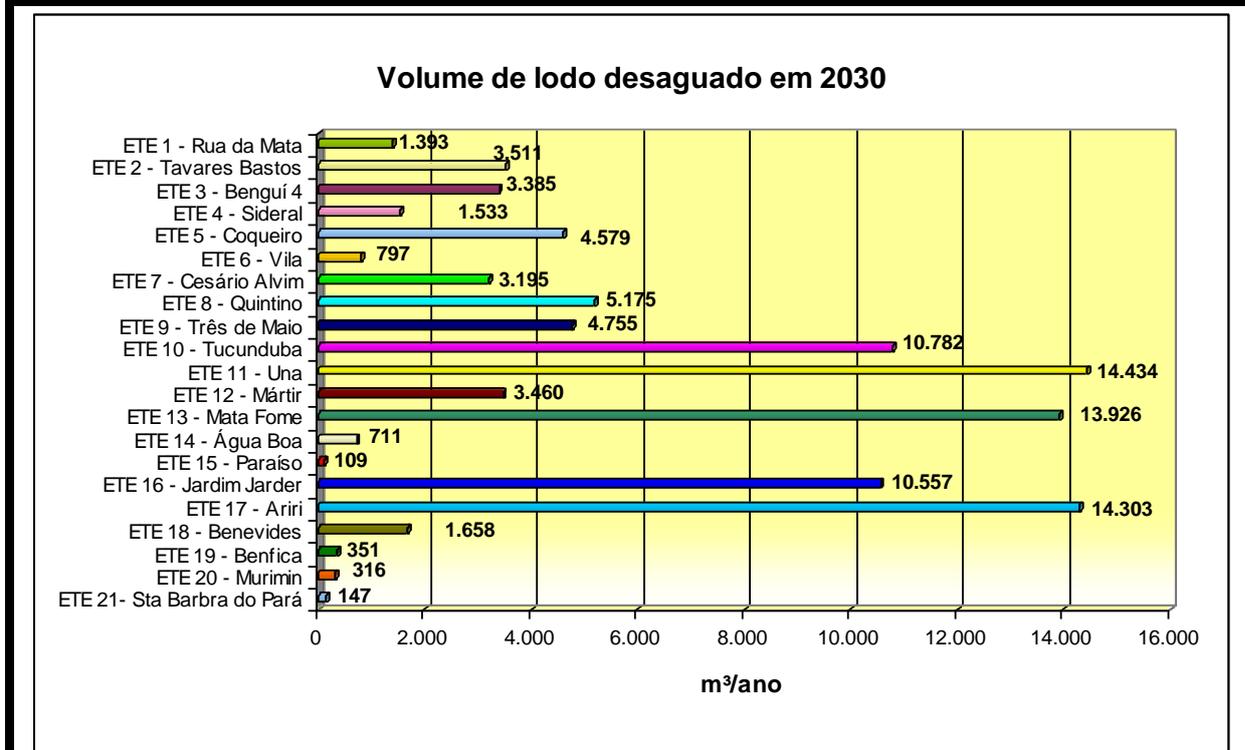


Gráfico 42 – Volume de lodo após desaguamento em leito de secagem em 2030.

## 5.2 ANÁLISE DA CAPACIDADE DO ATERRO SANITÁRIO DO AURÁ COMO LOCAL DE DISPOSIÇÃO DO LODO (2010 A 2030).

Com base em informações obtidas em campo, o Aterro Sanitário do Aurá recebe cerca de 1.700 toneladas de resíduo domiciliar por dia (de segunda-feira a sábado) e 800 toneladas de resíduos de feiras e mercados aos domingos. Esses resíduos são oriundos dos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba.

Atualmente, os resíduos de serviço de saúde não são encaminhados para as células do Aterro Sanitário, devido à resolução CONAMA nº358/2005 estabelece que os geradores dos resíduos são os responsáveis legais pelo gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde, desde a geração até a disposição final. Entretanto, o Aterro do Aurá possui uma célula de resíduos de serviço de saúde (RSSS) lacrada que funcionou até 2004.

O Aterro Sanitário do Aurá possui 130 hectares de área total, mas somente 33,68 hectares são para disposição de resíduo sólido, sendo que dessa área já foram utilizado 26,17 hectares (Tabela 25). Os outros 96,33 hectares foram utilizados para à infraestrutura do aterro.

Atualmente existem nove células lacradas (desativadas), uma em funcionamento e uma em preparação para futura utilização. Em razão da previsão do esgotamento da área livre no aterro sanitário após a utilização da célula 11 (ainda em preparação para utilização), está sendo estudada a aquisição de uma nova área com 120.000 m<sup>2</sup> (12 hectares) para disposição dos resíduos sólidos. Contudo, além desse processo de aquisição ainda não estar definido, essa nova área somente terá capacidade para o atendimento de cerca de 4 anos. Nesse contexto, no presente trabalho são considerados 195.000 m<sup>2</sup> (19,5 hectares) como áreas efetivamente disponíveis para destinação final de resíduos sólidos no Aterro Sanitário do Aurá.

Tabela 25 – Dimensões das células e situação atual do Aterro Sanitário do Aurá.

<b>Nº das Células</b>	<b>Situação atual das células</b>	<b>Dimensões das células</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
1	Lacrada <sup>1</sup>	150x45x5	6.7500	33.750
2	Lacrada	150x150x25	22.500	562.500
3	Lacrada	150x150x25	22.500	562.500
4	Lacrada	150x150x25	22.500	562.500
5	Lacrada	150x150x25	22.500	562.500
6	Lacrada	150x150x25	22.500	562.500
7	Lacrada	150x150x25	22.500	562.500
8	Lacrada	150x150x25	22.500	562.500
9	Lacrada	150x150x25	22.500	56.2500
10	Em funcionamento	250x300x25	75.000	1.875.000
<b>11</b>	<b>Em preparação para uso futuro</b>	<b>250x300x25</b>	<b>75.000</b>	<b>1.875.000</b>
<b>Área e volume já utilizados com resíduos sólidos no Aterro Sanitário Aurá.</b>			<b>261.750</b>	<b>6.408.750</b>
<b>Área que está sendo adquirida para disposição de resíduos no Aterro Sanitário Aurá.</b>			<b>120.000</b>	<b>3.000.000</b>
<b>Área que ainda esta disponível para disposição de resíduos no Aterro Sanitário Aurá.</b>			<b>195.000</b>	<b>4.875.000</b>

<sup>1</sup> célula de resíduos de serviço de saúde.

Na Tabela 26 são apresentados os volumes estimados de lodo de esgoto (tanques sépticos + ETEs) desaguado em leito de secagem da RMB e de resíduos sólidos domiciliares dos municípios de Belém, Ananindeua no período de 2010 a 2030. O volume de lodo aumentará de 68.416 para 99.077 m<sup>3</sup>/ano e o volume de resíduos sólidos gerados nos municípios de Belém e Ananindeua aumentará de 2.445.647 m<sup>3</sup>/ano para 3.499.024 m<sup>3</sup>/ano.

Para verificar o impacto desse lodo desaguado no aterro Sanitário do Aurá foi dividido o volume de lodo desaguado da RMB pelo volume total de resíduos gerado em Belém, Ananindeua e observou-se que esse resíduo traz um aumento em média de 2,66% ao longo desses 20 anos. Esse aumento não é expressivo e o impacto se torna irrelevante, desde que o lodo seja desaguado.

Tabela 26 – Volume total de lodo após desaguamento das ETEs e Tanques sépticos e volume de resíduos sólidos domiciliar na RMB no período de 2010 a 2030.

Ano	Volume de lodo desaguado	Volume de Resíduos sólidos <sup>1</sup>	Volume total (RS+lodo)	Vol. lodo des./ volume total
	m³/ano	m³/ano	m³/ano	%
2010	68.416	2.445.647	2.514.064	2,72%
2011	69.882	2.478.571	2.548.453	2,74%
2012	72.189	2.510.282	2.582.471	2,80%
2013	73.153	2.540.869	2.614.022	2,80%
2014	74.132	2.570.408	2.644.540	2,80%
2015	75.075	2.598.946	2.674.021	2,81%
2016	75.106	2.626.548	2.701.654	2,78%
2017	76.215	2.653.277	2.729.491	2,79%
2018	76.735	2.679.191	2.755.925	2,78%
2019	77.140	2.704.334	2.781.474	2,77%
2020	77.400	2.728.761	2.806.161	2,76%
2021	79.192	2.793.319	2.872.511	2,76%
2022	81.278	2.857.877	2.939.155	2,77%
2023	82.825	2.922.435	3.005.260	2,76%
2024	84.721	2.986.993	3.071.714	2,76%
2025	86.553	3.051.551	3.138.104	2,76%
2026	88.921	3.141.046	3.229.967	2,75%
2027	91.387	3.230.541	3.321.927	2,75%
2028	93.950	3.320.035	3.413.985	2,75%
2029	96.514	3.409.530	3.506.043	2,75%
2030	99.077	3.499.024	3.598.101	2,75%
<b>Total</b>	<b>1.699.861</b>	<b>59.749.186</b>	<b>61.449.047</b>	<b>2,77%</b>

<sup>1</sup>Volume de resíduos sólidos dos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba.

Na Tabela 27 pode ser verificado o volume disponível para disposição de resíduos sólidos no aterro sanitário da aurá. No ano 2010 o volume disponível no aterro será igual a 4.875.00 m³, esse volume corresponde ao volume da célula 10, que ainda está disponível no aterro para disposição de resíduos, que é igual a 1.875.000 mais 3.000.000 m³ que equivale ao volume da área que será adquirida para as novas células.

Em 2011 será gerado 2.514.064 m³ de lodo e de resíduo doméstico e o volume disponível para disposição de resíduos é igual a 2.360.936 m³. Como o volume de resíduos é maior que volume disponível para destinação desse resíduo,

então esse volume livre no Aurá não será suficiente para disposição de todo o resíduo gerado nesse ano, ainda irá faltar 187.517 m<sup>3</sup> ser dispostos adequadamente.

A partir de 2011 não haverá área disponível para disposição de resíduos no Aterro Sanitário do Aurá.

Tabela 27 – Volume livre no aterro sanitário do Aurá no período de 2010 a 2030.

Ano	Volume total livre (m <sup>3</sup> )	Volume total (LODO +RS) (m <sup>3</sup> )	Saldo de volume (m <sup>3</sup> )	Déficit de volume (m <sup>3</sup> )
2010	<b>4.875.000</b>	2.514.064	2.360.936	
2011	2.360.936	2.548.453		187.517
2012	0	2.582.471		2.769.988
2013	0	2.614.022		5.384.010
2014	0	2.644.540		8.028.550
2015	0	2.674.021		10.702.571
2016	0	2.701.654		13.404.226
2017	0	2.729.491		16.133.717
2018	0	2.755.925		18.889.642
2019	0	2.781.474		21.671.116
2020	0	2.806.161		24.477.278
2021	0	2.872.511		27.349.789
2022	0	2.939.155		30.288.944
2023	0	3.005.260		33.294.204
2024	0	3.071.714		36.365.918
2025	0	3.138.104		39.504.023
2026	0	3.229.967		42.733.989
2027	0	3.321.927		46.055.917
2028	0	3.413.985		49.469.902
2029	0	3.506.043		52.975.946
2030	0	3.598.101		56.574.047

## 6 CONCLUSÕES

A implantação das ETEs previstas no Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém resultará em progressiva redução do número de tanques sépticos, até a sua total substituição, o que concentrará o tratamento de esgoto e a produção de lodo em 21 unidades coletivas do sistema de esgotamento sanitário, facilitando, portanto, o controle e, paralelamente, aumentando a carga pontual de lodo a ser desaguada e encaminhada para destinação final.

Em função das diretrizes preliminares de implantação de estações de tratamento de esgoto para o período de 2009 a 2030, a menor produção de lodo ocorrerá na ETE Paraíso, enquanto que a maior ocorrerá na ETE Mata Fome.

Foi possível constatar que o lodo de esgoto desaguado corresponde a aproximadamente 3% dos resíduos sólidos domiciliares, bem como que a falta de espaço disponível para disposição final de resíduos sólidos no Aterro Sanitário do Aurá é problema a ser enfrentado já em 2010.

Considerando que ainda não existem políticas para reaproveitamento do lodo na RMB, o incremento de lodo desaguado deverá ser encaminhado ao Aterro Sanitário do Aurá, que, atualmente, apresenta grande parte da sua área ocupada pelos resíduos sólidos domiciliares gerados nos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba.

Desse modo, pode-se concluir que, apesar da projeção do volume de lodo desaguado de ETEs coletivas não ter grande impacto percentual no volume de resíduos sólidos domiciliares no período estudado, a falta de áreas disponíveis no Aterro do Aurá é tema que deve ser resolvido com a máxima brevidade, pois, caso contrário, os resíduos sólidos domiciliares e o lodo de esgoto gerados na RMB não serão dispostos adequadamente, já que a previsão é o rápido comprometimento do volume livre do Aterro Sanitário do Aurá.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AISSE, Miguel et al. Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios. In: CAMPOS, José Roberto (Coord.). **Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 11, p. 271-299.

AISSE, Miguel Mansur. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.

AISSE, Miguel Mansur et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de flotação**. São Carlos: PROSAB, 2001. cap. 6 p. 1-33. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-6.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2008.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiências brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de et al. **Decanto-digestores**. In: CAMPOS, José Roberto (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

ANDREOLI, Cleverson V. et al. **A gestão dos biosólidos gerados em estações de tratamento de esgoto doméstico**. Engenharia e construção, Curitiba, 1998, n. 24. Disponível em: <[http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos\\_Seminarios/Lodo\\_de\\_Esgoto/gestao\\_biossolidos\\_ETEs.pdf](http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_Esgoto/gestao_biossolidos_ETEs.pdf)>. acesso em: 01 Out. 2007.

ANDREOLI, Cleverson Vitorino. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro, 1999.

ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINE, Eduardo S.; CASTRO, Luiz A. R. de. **Diagnóstico do potencial dos solos da Região de Maringá para disposição final**

**do lodo gerado pelos sistemas de tratamento de esgoto do município.** Sanare – Revista técnica da Sanepar, v.13, janeiro a junho 2000. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v13/Diagnostico/diagnostico.html>. acesso em: 08 de jun. de 2008.

ANDREOLI, Cleverson V. **Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final.** Belo Horizonte, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 8849: Apresentação de Projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.** 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 8419: Apresentação de Projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 – Resíduos Sólidos, classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, Ana Júlia Soares; SILVA, Valdinei Mendes. **Ocupação urbana e degradação ambiental: A problemática do lançamento de efluentes domésticos nas bacias hidrográficas do município de Belém-PA.** 2002. 100f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

BARBOSA, Ana Júlia Soares; PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Tanque Séptico.** [S. l.: s. n. ], 2005. Apostila.

BARROS, Raphael Tobias Vasconcelos; MÖLLER, Leila Margareth. Limpeza pública. In: BARROS, Raphael et al. (Org.). **Manual de saneamento e proteção**

**ambiental para os municípios.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2003. cap. 7, p. 181-208.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002.

Biblioteca didática de tecnologia Ambientais. **Vista aérea da ETE-Franca. foto aérea.** Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/tourFranca.html>. Acesso em: 17 Out 2007.

BORGES, Maeli Estrela. **Gerenciamento de limpeza urbana.** Belo Horizonte: IETEC, 2005.

BRINGHENTI, Jacqueline et al. **Efeitos da co-disposição de lixo urbano e lodo de ETE's em aterros sanitários.** In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007.

CAMARGO, Otávio Antônio; BETTIOL, Wagner. **Agricultura: opção animadora para a utilização de lodo de esgoto.** In: O Agrônomo, capinas, 52(2\3), 2000. Disponível em: [http://www.iac.sp.gov.br/OArgronomico/522-3/5223\\_p13\\_it\\_lodo.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/OArgronomico/522-3/5223_p13_it_lodo.pdf). Acesso em: 16 de maio 2007.

CANZIANI, José Roberto F. et al. **Análise econômica para reciclagem agrícola do Lodo de esgoto da ETE Belém.** Revista Técnica da Sanepar. V. 11, n. 11, jan./jun.1999.

CARNEIRO, Fernando Norat Paulo. **Caracterização e avaliação do potencial econômico da coleta seletiva e reciclagem dos resíduos sólidos domésticos gerados nos municípios de Belém e Ananindeua- PA.** 2006. 133 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

CASSINI, Sérgio Túlio; VAZOLLER, Rosana Filomena; PINTO, Marcelo Teixeira. Introdução. In: Cassini, Sérgio Túlio (Coord.). **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro, ABES, RiMa, 2003. cap. 1, p.1-9. Disponível em:<  
\_http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/ProsabStulio.pdf>. Acesso em: 17 Mai. De 2007.

CONAMA. Resolução nº 375, de 29 agosto de 2006. In: BRASIL. Secretaria de Meio Ambiente, CONAMA. IBAMA. **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..**

CONAMA. Resolução n. 358, de 29 de Abril de 2005. **Dispõe sobre tratamento e disposição final dos resíduos de serviço de saúde**. Secretaria de Meio Ambiente, CONAMA, IBAMA.

CORDEIRO, João Sergio; CAMPOS, José Roberto. **O impacto ambiental provocado pela indústria da água**. Saneamento Ambiental, São Carlos, n.56, p.52-57, Mar./Abr. 1999.

COSTA, Aureliano Nogueira et al. **Utilização agrícola do lodo de ETE anaeróbia como fonte de matéria orgânica e nutrientes no mamoeiro**. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

DALTRO FILHO, José. **Saneamento ambiental: doença, saúde e o saneamento da água**. São Cristóvão: UFS, Aracaju; Fundação Oviêdo Teixeira, 2004.

FAUSTINO, Ronaldo et al. **Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de Senna siamea lam**. Campina Grande: DEAg/UFCG, v.9, p. 278-282, 2005. Disponível em: <http://: \_www.agriambi.com.br>. Disponível em: 17 maio 2007. Acesso em: 25 agos. 2007.

FERNANDES, Fernando et al. **Reciclagem de lodo de esgoto – Experiência da Região Metropolitana de Curitiba.** In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

FERRAZ JUNIOR, Altamiro Souza de lima et al. **Uso do lodo de esgoto como adubo orgânico na cultura de tomateiro.** Pesq.Foco. São Luiz: UEMA/PPGE,V.9, n.13, p.127-140, jan./jun. 2001.

FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V.; LARA, Aderlene I. Riscos Associados ao uso de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. cap. 3, p.29-33.

FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V.; JÜRGENSEN, Décio. Produção e características dos bio sólidos. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. cap. 1, p.16-25.

FERREIRA, Andréia Cristina; ANDREOLI, Cleverson Vitório; PREVEDELLO, Beatriz Monte Serrat. **Viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto tratado termicamente em leitos de secagem.** In: SANARE. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v.17. 2002. p. 102-110.

FERREIRA, Rodrigo Alexandre Ribeiro; NISHIYAMA, Luiz. **Principais equipamentos e processos utilizados no condicionamento e tratamento do lodo de esgoto.** In: II Simpósio Regional de Geografia “Perspectivas para o Cerrado no Século XXI”. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de geografia, 2003.

FORNARI, Mara. **Uma solução para o lixo da Grande Belo Horizonte.** Saneamento Ambiental, n.116, Set./Out. 2005.

FUNASA. **Manual de Saneamento.** Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007. 408 p.

GODINHO, Valéria Martins; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; HONÓRIO, Karina Barbosa. **Caracterização de lodos gerados em sistemas de tratamento de esgotos quanto à presença de ovos de helmintos.** In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, 2003.

GONÇALVES, Ricardo Franci; LUDUVINCE, Maurício, VON SPERLING, Marcos. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, Cleverson; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando (Org.). **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2007. cap. 5, p. 159-257. (Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).

GUTIERREZ, Lucy Anne Cardoso Lobão; MACHADO, Luiza Carla Girard Teixeira. Produção e gerenciamento de lodo na Região Metropolitana de Belém. In: PEREIRA, José Almir Rodrigues (Org.). **Saneamento ambiental em áreas urbanas.** Belém: UFPA/NUMA, EDUFPA, 2003. cap. 1, p. 181-205.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Demográficos.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acessado em: 26 de Maio de 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de Trabalho e Rendimento. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2007. Rio de Janeiro, 2008. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2007/default.shtm>. Acessado em 14 de fevereiro de 2008.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos.** Rio de Janeiro, 2005.

LANZA, Vera Christina Vaz; CARVALHO, André Luciano de. **Orientações Básicas para operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte, FEAM, 2006. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Aterro2.pdf>>. Acesso em: 19 de Nov. de 2007.

LEITE, Wellington Cyro de Almeida; SCHALCH, Valdir; CASTRO, Marcus César Avezum Alves. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. [S. l.: s. n. ], 2004. Apostila.

LIMA, José Dantas. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Campina Grande: ABES, 2001.

LOPES, Ana Lúcia Bahia et al. **Como destinar os resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: FEAM, 2002. 45p.

LOPES, F.E.P et al. **Saneamento ambiental do complexo de destino final de resíduos sólidos no Aurá – Município de Belém**. Belém, 2007. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/assem/rrss/sanambrss.pdf> > Disponível em 2 de Out 2007.

LUDUVICE, Maurício, FERNANDES, Fernando. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, Cleverson; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando (Org). **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2007. cap. 9, p. 399-423. (Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).

Cunha, Mariana Rodrigues da. **Vista aérea do Aterro sanitário de Uberlândia**. Uberlândia: LIMPEBRAS E DESCARTADOS, 2008 Disponível em: <<http://limpebrasedescartados.blogspot.com/2008/10/fotos-do-aterro-sanitrio-de-uberlndia.html>>. Acesso em: 21 de Jan. de 2009.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos.** São Paulo: ProduQuímica, 1994.

MACHADO, Maria Fernanda de Sousa. **A Situação brasileira dos Biossólidos.** 2001. 282 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MANSUR, Gilson Leite; MONTEIRO, José Henrique R. Penido. **Cartilha de limpeza urbana.** Rio de Janeiro: CPU/IBAM, SNS/MAS. Disponível em: <<http://www.ibam.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm>>. Acesso em: 27 de Out. 2008.

MENDES, Frederico da Cunha; PEREIRA, José Almir Rodrigues. Programas de esgotamento sanitário na Região Metropolitana de Belém. In: PEREIRA, José Almir Rodrigues (Org). **Saneamento ambiental em áreas urbanas.** Belém: UFPA/NUMA, EDUFPA, 2003.

MONTEIRO, José Henrique Penido et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NAVAL, Liliana Pena, SILVA, Julianderson Bandeira da. **Caracterização do lodo proveniente das estações de tratamento de águas residuárias de Palmas avaliando o seu potencial fertilizante.** In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. – João Pessoa, 2001.

PAULA JUNIOR, Durval Rodrigues et al. Estabilização Anaeróbia de lodos. In: CASSINI, Sérgio Túlio (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. cap. 3, p. 53-93. Disponível em: < <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosabrealifinal.pdf>>. Acesso em: 24 de jun. 2007.

PEGORINE, Eduardo S. et al. **Produção e disposição final de lodo de esgoto na reciclagem agrícola da Região Metropolitana de Curitiba - PR.** In: III Simpósio sobre Biossólidos no Âmbito do Mercosul. São Paulo, 2003.

PASSETO, Wilson. **Dossiê do saneamento: Esgoto é vida.** CEDIPLAQ, 2007.

PEREIRA, José Almir Rodrigues. Saneamento em áreas urbanas. In: PEREIRA, José Almir Rodrigues (Org). **Saneamento ambiental em áreas urbanas.** Belém: UFPA/NUMA, EDUFPA, 2003. cap. 1, p. 23-36.

PEREIRA, José Almir Rodrigues, MENDES, Frederico da Cunha. Sistema de esgotamento sanitário. In: PEREIRA, José Almir Rodrigues (Org). **Saneamento ambiental em áreas urbanas.** Belém: UFPA/NUMA, EDUFPA, 2003. cap. 2, p. 37-62.

PEREIRA, José Almir Rodrigues; SOARES, Jaqueline Maria. **Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação** – Belém: NUMA/UFPA, EDUFPA, GPHS/CT, 2006.

PEREIRA, Luiz Otávio Mota. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.** [S. l.: s. n. ], 2003. Apostila.

PROJETO TIETÊ. **Plano de uso disposição de lodos das ETEs.** In: Engenharia, 1998. São Paulo, n. 527. p 82-90.

PURIFICAÇÃO, Ana Cristina et al. **Manual de operação de aterros sanitários.** Bahia: Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER), 2007. 54 p. Disponível em:< [http://www.conder.ba.gov.br/manual\\_aterro.pdf](http://www.conder.ba.gov.br/manual_aterro.pdf)>. Acesso em: 26 de Out. de 2007.

RIZZO, Murilo Roriz. **Uso do lodo primário da ETE Goiânia na recuperação de áreas degradadas.** In: Seminário Gestão de Resíduos Sólidos. Goiânia, 2006. Disponível em:

ROCHA, Marcelo Theoto; SHIROTA, Ricardo. Disposição final de lodo de esgoto. **Revista de estudos ambientais**, v.1, n.3, set/dez 1999. Disponível em:< [\\_http://www.renovaveis.hpg.ig.com.br/temas/biomassa/disposicao\\_final\\_de\\_lodo\\_de\\_esgoto.pdf](http://www.renovaveis.hpg.ig.com.br/temas/biomassa/disposicao_final_de_lodo_de_esgoto.pdf)>. Acesso em: 02 Mai. de 2007.

ROCHA, Cláudia, SANT` ANNA, Fernando Soares Pinto. **Regulamentação para despejos de caminhões limpa-fossas na ETE-Jarivatuba, Joinville-SC**. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. – Campo Grande, 2005.

SILVA, Márcia Cesário P. et al. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, Cleverson; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2007. cap. 3, p. 69-121. (Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6). a livro

SILVA, Mônica Maria Pereira et al. **Avaliação das características químicas, físicas e biológicas de lodo produzido em tanques sépticos coletivos de município pequeno porte do semi-árido Paraibano**. In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007. b

SILVA, Mônica Maria Pereira et al. **Avaliação da remoção de ovos de helmintos em codisposição de lodo anaeróbio e resíduos sólidos orgânicos**. In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007. c

SILVA, Valdinei Mendes. **Plano diretor setorial do sistema de esgotamento sanitário: Alternativas de concepção para a área de maior adensamento populacional do município de Belém-PA**. 2005. 198 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

SILVÉRIO, Lisley. **Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais**. O agrônomo, campinas, 56 (1), 2004.

Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/OAgronomico/56\\_1/PaginasAzuis56-1-4.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/OAgronomico/56_1/PaginasAzuis56-1-4.pdf)> . Acesso em: 16jun.2008.

SANTOS, Hilton Felício e TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Aproveitamento e disposição final do lodo de estações de tratamento do Estado de São Paulo.** Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 2, Nº 2, Abr/Jun. 1997.

TANCREDI, Nicola Saverio Holanda; NASCIMENTO, Elbe Fernandes. **Gestão dos resíduos sólidos na Região Metropolitana de Belém.** Belém, 2007.

TSUTIYA, Roberto et al. **Biossólidos na agricultura.** São Paulo: SABESP, 2001. a

TSUTIYA, Roberto et al. **Qualidade de biossólidos produzidos em estações de tratamento de esgotos na Região Metropolitana de São Paulo.** In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001. b

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. **As cidades e seu lixo: Cartilha de educação ambiental.** Belém, Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento; COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da RMB: relatório III.** Belém, 2008.

VOLSCHAN JUNIOR, Isaac; JORDÃO, Eduardo Pacheco; PAIXÃO, Maria Cristina Treitler. **Caracterização qualitativa do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos domésticos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996. (Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 3).

VON SPERLING, Marcos. **Lodos Ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005. (Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 4).

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; 2006. (Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

VON SPERLING, Marcos; GONÇALVES, Ricardo Franci. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, Cleverson; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando (Org.). **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2007. cap. 2, p. 17-67. (Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).