

x

ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PHD 2549-Projeto de Formatura II

Plano Diretor de Lodos das
ETA's operadas pela Sabesp

Prof^a. Orientadora: Dione Mari Morita

Fábio Daisuke Takahashi	4940218
Leandro Toshio Miyake	4938542
Marcos Castanhera Sanches	4894944
Renato Braga Santini	4978203

2008

***Agradecemos a Profª Dione, Profª Maria Eugênia,
Ricardo do PHD, Prof. Ricardo Isaac, Eng. Américo,
Iara Ichao, ao Instituto de Engenharia, à Sabesp,
aos técnicos do laboratório de qualidade da água
da POLI-Civil e a todos que nos apoiaram nessa
empreitada***

ÍNDICE

1. Introdução.....	10
2. Objetivo.....	11
3. Justificativa	12
4. Revisão Bibliográfica.....	14
4.1. Plano Diretor – Definição	14
4.2. Conceito de Lodos de Estação de Tratamento de Água	14
Figura 4.2.(1) – Fluxograma do Sistema Convencional de Tratamento de Água.....	15
4.3. Características dos Lodos de ETAs	15
Tabela 4.3.(1) - Características dos lodos de estações de tratamento de água (parâmetros convencionais).....	17
Tabela 4.3.(2) - Características dos lodos de estações de tratamento de água (parâmetros não convencionais).	19
Tabela 4.3.(3) - Teores de hidrocarbonetos aromáticos polinucleares no lodo da ETA Rhine (Alemanha).	20
Tabela 4.3.(4) - Teores de pesticidas no lodo da ETA Rhine na Alemanha.	20
Tabela 4.3.(6) - Resultados do teste EP Toxicity em resíduos de 66 ETAs.	22
4.4. Histórico e Panorama Mundial.....	23
4.4.1. Experiência Internacional	23
4.4.2. Caso Brasileiro	24
4.5. Legislação Pertinente	26
4.5.1. Legislação Brasileira.....	26
4.5.1.1. Classificação do Lodo	26
4.5.1.2. Armazenamento do lodo	26
4.5.1.3. Transporte do lodo	27
4.5.1.4. Disposição do lodo em aterro.....	27
4.5.1.5. Disposição do lodo no solo.....	27
4.5.1.6. Lançamento do lodo no sistema público de esgotos.....	27
4.5.2. Legislação Internacional	28
4.5.2.1. Estados Unidos	28
Tabela 4.5.2.1.(1) - Evolução das Leis Federais de Controle de Poluição, nos EUA.....	28
4.5.2.2. Alemanha	29
Tabela 4.5.2.2.(1) - Limites de Lançamento de Alguns Parâmetros de Resíduos de ETAs Segundo Regulamentação Alemã.....	30
Tabela 4.5.2.2.(2) – Teores Máximos de Metais Pesados Permitidos em Mistura de Lodos para Lançamento no Solo, Segundo a Soil Pollution Act-SPOA (Alemanha)	31
4.6. Tratamento do Lodo	31
Figura 4.6.(1) – Opções para tratamento de lodos de estações de tratamento de água (adaptado de CORNWELL et al., 1990).....	32

Tabela 4.6.(1) - Teores de umidade dos lodos após tratamento e atendimento aos requisitos de diferentes formas de disposição/ usos benéficos.....	34
4.7. Quantificação do lodo de uma ETA.....	34
4.8. Formas de Disposição de Lodos de ETAs.....	36
4.8.1. Aterro Sanitário.....	37
4.8.2. Estação de Tratamento de Esgoto.....	38
4.9. Potenciais usos benéficos de lodos de ETA.....	38
4.9.1. Indústrias de cimento.....	38
4.9.2. Concreto.....	38
4.9.3. Agricultura.....	39
4.9.4. Recuperação de Áreas Degradadas.....	39
4.9.5. Cerâmica.....	39
4.9.6. Cobertura de Aterros.....	40
4.9.7. Recuperação de Coagulantes.....	40
4.9.8. Remoção de Fósforo de águas residuárias.....	41
4.9.9. Mineração.....	41
4.9.10. Siderurgia.....	42
5. Proposta de Método - Metodologia de Elaboração de um Plano Diretor	42
5.1.3.1. Análise estatística dos dados de Turbidez e Sólidos em suspensão nos corpos d'água do Estado de São Paulo.....	43
5.1.3.2. Análise das tipologias de água para os parâmetros:.....	44
5.1.3.2.1. Cor.....	44
5.1.3.2.2. Turbidez.....	44
5.1.3.2.3. Sólidos Totais (ST).....	44
5.1.3.2.4. Sólidos Dissolvidos Totais (SD).....	45
5.1.3.2.5. Sólidos em Suspensão Totais (SS).....	45
5.1.3.2.6. Carbono Orgânico Total (COT).....	46
5.1.3.2.7. Distribuição Granulométrica.....	46
6. Resultados Obtidos.....	46
6.1. Levantamento de Informações Técnicas.....	46
6.1.1. Uso em Aterros Sanitários.....	47
6.1.2. Uso em Cerâmicas.....	48
6.1.3. Uso em Concreto.....	49
6.2. Análise da Consistência dos Dados.....	51
6.2.1. Análise estatística dos dados de Turbidez e Sólidos em suspensão nos corpos d'água do Estado de São Paulo.....	51
Tabela 6.2.1.(1) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento.....	51
Tabela 6.2.1.(2) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento.....	52

Tabela 6.2.1.(3) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento	53
Tabela 6.2.1.(4) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento	54
6.2.2. Análise das tipologias de água (Cor, Turbidez, Sólidos em Suspensão, Sólidos Dissolvidos e Sólidos Totais, COT e Distribuição Granulométrica).....	55
Gráfico 6.2.2.1.....	56
Gráfico 6.2.2.2.....	56
Gráfico 6.2.2.3.....	56
Gráfico 6.2.2.4.....	57
Gráfico 6.2.2.5.....	57
Gráfico 6.2.2.6.....	57
7. Escolha de Alternativas.....	58
8. Estudo Logístico	60
8.1. Produção de Lodo	60
8.2. Demanda por Lodo.....	61
8.3. Considerações Gerais.....	61
Figura 8.3.(2) – Polos Cerâmicos na Região Sudeste e Sul (Brasil).....	63
Figura 8.3.(3) – Estações de Tratamento de Água e Polos de Produção de Cerâmica no estado de São Paulo.	64
9. Solução Proposta.....	64
9.1. Tratamento do Lodo.....	64
9.2. Transbordo de Lodo para Cerâmica Vermelha.....	65
9.3. Licenciamento do Órgão Ambiental.....	65
9.4. Recomendações Adicionais.....	65
10. Referências Bibliográficas	67
11. ANEXO I – DOSSIÊ DO RESÍDUO	70
12. ANEXO II – CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DO RESÍDUO	71
13. ANEXO III – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA.....	72
14. ANEXO IV – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO.....	73
15. ANEXO V – ANÁLISES LABORATORIAIS	74

1. Introdução

O tema de que tratará o presente Trabalho de Conclusão de Curso é o uso benéfico ou a disposição de lodos de estações de tratamento de água operadas pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo).

Os lodos de ETAs resultam do tratamento físico-químico da água de abastecimento público (Coagulação, Floculação, Sedimentação, Filtração e Desinfecção). Sendo assim, eles são compostos, basicamente, pelos sólidos retirados no decantador e pela água de lavagem dos filtros.

A maioria das ETAs do Estado de São Paulo lança os lodos gerados em corpos d'água mais próximos, causando diversos problemas tais como: aumento na quantidade de sólidos em suspensão, assoreamento, mudança de cor e aumento das concentrações de alumínio.

Mas, uma vez que nos últimos tempos os órgãos ambientais vêm intensificando a fiscalização sobre o lançamento de lodos em corpos d'água, isso tem exigido a busca de alternativas para a solução desse problema, por parte das concessionárias de saneamento.

Vale ressaltar que tem-se dado grande ênfase no tratamento, deixando em segundo plano a disposição final, e, dessa forma as unidades de adensamento, condicionamento e desaguamento são projetadas considerando apenas a obtenção do máximo teor de sólidos no lodo.

Dessa forma, será elaborado um Plano Diretor para esses lodos, contendo o levantamento de possíveis opções e a escolha da melhor alternativa de uso desse lodo para diversas regiões do estado de São Paulo. Tal escolha poderá incluir também formas de disposição final do lodo.

Segundo ANDRADE et al. (2004), a indústria cerâmica possui grande capacidade para absorver os lodos de ETA. Outros possíveis usos benéficos estão nas seguintes áreas: recuperação de coagulantes, indústrias de cimento, produção de concreto, agricultura, controle de erosão e recuperação de áreas degradadas. Em relação à disposição, deve ser destacada: a disposição em aterros sanitários.

2. Objetivo

O principal objetivo do trabalho é a definição de usos benéficos e destinos que apresentem viabilidade (técnica, econômica, ambiental e logística) para lodos por região e a escolha da melhor alternativa. Para isso, elaborar-se-á um "Plano Diretor de Uso de Lodo de ETAs operadas pela Sabesp" no estado de São Paulo.

As tarefas serão realizadas visando incorporar aspectos legais e políticos no projeto. E nas alternativas de usos serão abordados aspectos multidisciplinares do ponto de vista da Saúde Ocupacional, Administração, Planejamento Urbano e Regional, de modo a integrar diversas áreas de conhecimento.

Sendo assim, estabeleceu-se como metas os seguintes produtos a serem obtidos:

1. Análise estatística dos dados de Turbidez e Sólidos em Suspensão nos corpos d'água do estado de São Paulo. Será analisada a correlação entre Turbidez e sólidos em suspensão, e a adequação de se utilizar a turbidez como parâmetro para estimar a produção de lodo.
2. Balanço de massa de sólidos em seis ETAs tipo para estimativa da produção de lodo.
3. Avaliação da qualidade do lodo
 - a. Levantamento das impurezas dos produtos químicos
 - b. Levantamento da qualidade da água bruta
 - c. Análise química e bacteriológica dos lodos das seis ETAs
 - d. Análises para caracterização geomecânica e mineralógica dos materiais
4. Levantamento da literatura sobre usos benéficos de lodos de ETAs e formas de disposição.
5. Entrevistas com especialistas em concretos, agricultura, cerâmica, mineração, aterros sanitários, erosão, siderurgia e cimenteiras para avaliação do potencial uso do lodo
6. Georreferenciamento de pontos de interesse
 - a. Vias
 - b. Demanda por lodo
 - c. Produção de lodo
7. Estudo Logístico
 - a. Fluxos
 - b. Cruzamentos
 - c. Custos
8. Elaboração de um Plano diretor

- a. Indicação da alternativa escolhida para o lodo de SP
- b. Quantidade de lodo destinada para cada uso escolhido

9. Descrição da Logística envolvida
 - a. Requisitos do lodo utilizado
 - b. Processos de tratamento

3. Justificativa

A princípio, deve-se considerar a importância do tema sob o ponto de vista acadêmico, uma vez que o mesmo permitirá o envolvimento dos alunos com questões amplas geralmente envolvidas em um plano diretor, além da integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

Outro ponto que salienta a importância do tema é que atualmente, no Estado de São Paulo, grande parte do lodo gerado nas estações de tratamento de São Paulo é disposto em aterros, lançado em corpos d'água ou enviado às estações de tratamento de esgoto (ETEs). Diferentemente das ETEs, que foram projetadas considerando um grande volume de lodo gerado, os projetos de ETAs não consideraram a real dimensão do problema de produção de lodo. No Brasil tem-se um total de 7.500 ETAs, e somente na Região Metropolitana de São Paulo são tratados 60 m³/s de água. Estima-se que no Estado sejam gerados 1000 toneladas diárias de resíduo seco, mas estudos atuais vêm mostrando que essa estimativa é inconsistente e não condiz com o total real de resíduos gerados.

A deterioração da qualidade da água torna o problema mais grave ainda, pois exige uma maior adição de produtos químicos à água e isso gera uma maior quantidade de lodo. Como as tecnologias de tratamento da água (Coagulação, Floculação, Sedimentação, Filtração e Desinfecção) tendem a ser as mesmas nos próximos anos, é improvável que a quantidade gerada de lodo vá sofrer diminuição significativa.

Atualmente, diversos problemas estão relacionados aos métodos tradicionais de disposição do lodo (Andrade, 2004):

- Lançamento do lodo em cursos d'água
Pode causar o assoreamento dos cursos d'água além da deterioração da qualidade da água (prejudicando uso para abastecimento) e do meio aquático.
- Disposição em Aterros Sanitários
Exige uma grande disponibilidade de área e gera altos custos (transporte e pagamento ao aterro) ao gerador do lodo. Além do lodo de ETA ser um material pouco resistente e muito compressível para aterro exclusivo que se disposto pioraria a estabilidade do maciço.
- Envio do lodo para as Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs)

Não configura um tratamento, somente transfere o problema, pois a disposição final fica a cargo da ETE. Além disso, essa opção pode causar um sobrecarga no tratamento do esgoto, prejudicando a operação da ETE.

Entretanto, a decisão sobre quais alternativas (usos benéficos/destino final) devem ser tomadas, não envolve somente a viabilidade técnica. Assim, se torna necessário um planejamento dos usos para as próximas décadas.

O tema envolve um conteúdo visto em diversas disciplinas ao longo do curso de engenharia ambiental, tornando o trabalho multidisciplinar. O trabalho final será resultado de análises laboratoriais, estudo de viabilidade e consulta a professores de diversas áreas da engenharia ou associadas a ela, tais como: estatística engenharia de materiais, mecânica dos solos, gestão de resíduos, geoprocessamento, qualidade da água e logística.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Plano Diretor – Definição

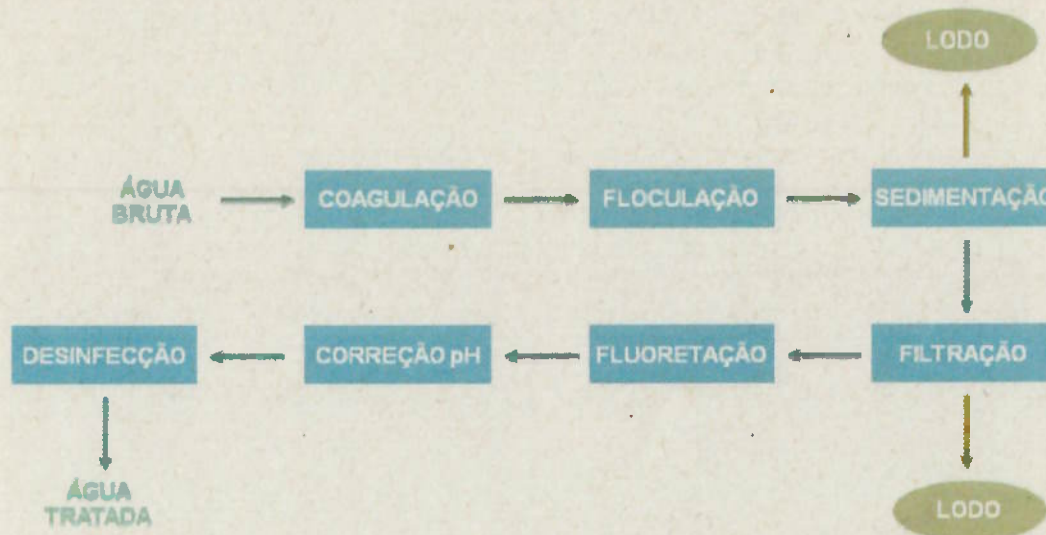
O Plano Diretor é um documento que apresenta um levantamento e avaliação de alternativas com o intuito de auxiliar os tomadores decisão (governo, órgãos ambientais, empresas privadas e poder público em geral) na elaboração de políticas ou na escolha de alternativas (que é o caso do presente estudo).

De forma geral, o Plano Diretor é composto pelas seguintes partes:

- Pesquisa Bibliográfica;
- Levantamento de Dados;
- Avaliação das Opções;
- Escolha da alternativa

4.2. Conceito de Lodos de Estação de Tratamento de Água

O lodo de uma estação de tratamento de água pode ser definido, segundo Godbold *et al.* (2003), como todo o resíduo proveniente do tratamento para a produção da água potável a partir da água bruta. Isso ocorre quando se utiliza o sistema de ciclo completo convencional (vide Figura 4.2.(1)). É constituído de água e sólidos em suspensão acrescidos de produtos usados na coagulação e também de impurezas como argila, substâncias húmicas e microrganismos.

Figura 4.2.(1) – Fluxograma do Sistema Convencional de Tratamento de Água

Segundo Cornwell *et. al.* (2000), as ETAs podem gerar diferentes variedades de resíduos sólidos, que podem ser classificados como resíduos de alumínio, de cloreto de polialumínico (PACl), de ferro, de abrandamento com cal, de polímero, de cal e de ferro/manganês.

Richter (2001) afirma que as características do lodo variam com o tipo de tratamento utilizado. Assim, pode-se ter dois tipos de lodos: o lodo de uma ETA convencional, onde o coagulante (cloreto férrico ou sulfato de alumínio) é utilizado para a remoção da cor e turbidez, e o lodo de uma ETA de abrandamento, onde aplica-se cal para a remoção da dureza da água.

4.3. Características dos Lodos de ETAs

As características dos lodos de ETAs variam de acordo com a natureza da água bruta, dos processos e operações unitários e produtos químicos aplicados (Richter, 2001).

O lodo de sulfato de alumínio é um fluido não-newtoniano, gelatinoso, cuja fração de sólidos é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, colóides e resíduos orgânicos, inclusive bactérias e outros organismos removidos no processo de coagulação/floculação/sedimentação. Sedimentam com relativa facilidade, porém sua baixa compressibilidade resulta em grande volume e baixo teor de sólidos (RICHTER, 2001).

O lodo de cloreto férrico apresenta características próximas ao do lodo de sulfato de alumínio, porém o hidróxido de alumínio é substituído pelo hidróxido férrico (RICHTER, 2001).

O lodo do processo de abrandamento por cal é constituído principalmente de carbonato de cálcio e é, praticamente, isento de matéria orgânica. Sua composição inclui 75% de CaCO_3 , 6% de sílica como SiO_2 , 7% de carbono total, 3% de alumínio como Al_2O_3 e 2 % de magnésio como MgO (RICHTER, 2001). A composição, a massa e o volume variam com a dureza removida e outras características físico-químicas da água bruta.

Segundo Barbosa (2000), o lodo retido nos decantadores e flotadores e a água de lavagem dos filtros têm como características a baixa biodegradabilidade, a alta concentração de sólidos totais, patógenos e, eventualmente, metais pesados.

Nas **Tabelas 4.3 (1) e 4.3 (2)** abaixo são apresentadas as características do lodo segundo diversos autores:

Tabela 4.3.(1) - Características dos lodos de estações de tratamento de água (parâmetros convencionais).

PARÂMETROS	CORDEIRO (1993) ⁽¹⁾	YUZHU (1996)	BARBOSA (2000)	HUANG <i>et al.</i> (2001)	RICHTER (2001)	ISAAC <i>et al.</i> (2002a)	PAULSRUD <i>et al.</i> (2002)	GODBOLD <i>et al.</i> (2003)
pH	5,0 – 7,6	-	6,2 - 9,8 ⁽²⁾ 6,8 - 10,6 ⁽³⁾	6,59	6 - 8 ⁽²⁾ 7,4 - 9,5 ⁽³⁾	7,8 ⁽⁵⁾	6,9 - 8,4	5,5 - 7,5
Sólidos totais	1100 - 81575 (mg/L)	2,5 (%)	29595 - 52345 ⁽²⁾ 2132 - 5074 ⁽³⁾ (mg/L)	-	0,1% - 4% ⁽²⁾ 0,25% - 3,5% ⁽³⁾ 2% - 25% ⁽⁴⁾	480 ⁽⁵⁾ (mg/L)	0,06 - 18,5 (%)	0,1 - 27 ⁽²⁾ 1,85 - 17,6 ⁽³⁾ (% m/m)
Sólidos voláteis (% dos sólidos totais - % st)	20 – 73	20	24,96 - 25,35 ⁽²⁾ 23,57 - 29,17 ⁽³⁾	9,56	20 - 35 ⁽²⁾ 5,1 - 14,1 ⁽³⁾	33 ⁽⁵⁾	37,5 - 67,5	10 - 35
Alcalinidade	-	0,0 - 115 (mgCaCO ₃ /L)	68,48 - 93,60 ⁽²⁾ 54,08 - 81,32 ⁽³⁾ (mgCaCO ₃ /L)	0,055 (% CaO)	-	3,70 ⁽⁵⁾	0,25 - 1,76 (% Ca em st)	-
Ferro	-	17,5 - 1800 (mgFe/L)	130500 - 392500 ⁽²⁾ 124000 - 299500 ⁽³⁾ (mgFe/kg)	5,514 (% Fe ₂ O ₃)	-	>113,1 ⁽⁵⁾ (mg/L)	-	6,5 ⁽²⁾ 19 - 38 ⁽³⁾ (% st)
LEGENDA: ⁽¹⁾ – síntese da caracterização de lodo de decantadores realizados por diversos autores ⁽²⁾ – resíduo de tratamento com sulfato de alumínio ⁽³⁾ – resíduo de tratamento com cloreto férrico ⁽⁴⁾ – resíduo do processo de abrandamento por cal ⁽⁵⁾ – água de lavagem dos filtros								

Tabela 4.3.(2) - Características dos lodos de estações de tratamento de água (parâmetros não convencionais).

	BARBOSA (2000)	BARROSO <i>et al.</i> (2001)	HUANG <i>et al.</i> (2001)	ISAAC <i>et al.</i> (2002a)	PAULSRUD <i>et al.</i> (2002)	GODBOLD <i>et al.</i> (2003)
Al	57730 - 171769 ⁽²⁾ 95773 - 162165 ⁽³⁾ (mgAl/kg)	0,3 - 11100 (mgAl/L)	10,483 (% Al ₂ O ₃)	5,48 ⁽⁵⁾ (mgAl/L)	-	4 - 11 ⁽²⁾ 4,5 - 10,5 ⁽³⁾ (% st)
Zn	29,0 - 64,0 ⁽²⁾ 31,5 - 125,0 ⁽³⁾ (mgZn/kg)	0,11 - 4,25 (mgZn/L)	-	1,55 ⁽⁵⁾ (mgZn/L)	66 - 296 (mgZn/kg st)	0,011 - 0,086 (% st)
Cd	não detectado ⁽²⁾ não detectado ⁽³⁾	0,01 - 0,14 (mgCd/L)	0,87 (mg/kg)	25,76 ⁽⁵⁾ (mgCd/L)	0,06 - 1,2 (mgCd/kg st)	<0,005 ⁽²⁾ <0,0001 - 0,0006 ⁽³⁾ (% st)
Ni	50,0 - 79,5 ⁽²⁾ 50,0 - 90,0 ⁽³⁾ (mgNi/kg)	1,06 - 2,70 (mgNi/L)	-	0,373 ⁽⁵⁾ (mgNi/L)	3,4 - 39,7 (mgNi/kg st)	0,0018 - 0,0125 (% st)
Mn	1415 - 1485 ⁽²⁾ 366 - 1265 ⁽³⁾ (mgMn/kg)	0,1 - 60 (mgMn/L)	-	1,002 ⁽⁵⁾ (mgMn/L)	-	<0,005 - 5 ⁽²⁾ 0,06 - 0,81 ⁽³⁾ (%st)
Cu	24 - 70 ⁽²⁾ 34 - 61 ⁽³⁾ (mgCu/kg)	0,06 - 2,05 (mgCu/L)	-	0,028 ⁽⁵⁾ (mgCu/L)	<10 - 110 (mgCu/kg st)	0,003 - 0,0087 (%st)
Cr	34,5 - 38,5 ⁽²⁾ 34 - 44 ⁽³⁾ (mgCr/kg)	0,35 - 3,82 (mgCr/L)	82,3 (mg/kg)	<0,004 ⁽⁵⁾ (mgCr/L)	<5,8 - 33 (mgCr/kg st)	<0,0002 - 0,0125 (% st)
Pb	56 - 75 ⁽²⁾ 46 - 54 ⁽³⁾ (mgPb/kg)	0,50 - 2,32 (mgPb/L)	15,6 (mg/kg)	0,03 ⁽⁵⁾ (mgPb/L)	6,4 - 29,4 (mgPb/kg st)	0,0013 - 0,0084 (% st)
As	-	-	-	<0,02 ⁽⁵⁾ (mgAs/L)	-	<0,04 ⁽²⁾ 0,001 - 0,002 ⁽³⁾ (%st)
Hg	-	-	-	-	0,01 - 0,46 (mgHg/kg st)	< 0,00005 - 0,00006 (% st)
Si	-	-	43,417 (% SiO ₂)	-	-	-
COT	-	-	-	-	-	7,72 (% m/m C)

LEGENDA:

(1) – síntese da caracterização de lodo de decantadores realizados por diversos autores;

(2) – resíduo de tratamento com sulfato de alumínio; (3) – resíduo de tratamento com cloreto férrico;

(4) – resíduo do processo de abrandamento por cal; (5) – água de lavagem dos filtros

Ohmichen et al. (1988) *apud* Horth et al. (1994) desenvolveram técnicas para determinar teores de pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares e compostos fenólicos no lodo. Para a estação de Rhine, na Alemanha, obtiveram os resultados apresentados nas Tabelas 4.3.(3) e 4.3.(4):

Tabela 4.3.(3) - Teores de hidrocarbonetos aromáticos polinucleares no lodo da ETA Rhine (Alemanha).

COMPOSTOS	$\mu\text{g kg}^{-1}$ (massa seca)
Fluoranteno	107,0
Benzo(k)fluoranteno	24,2
Benzo(b)fluoranteno	41,5
Benzo(a)pireno	18,1
Indeno(1,2,3-cd)pireno	26,7
Benzo(g,h,i)perileno	17,0

Fonte: HORTH *et al.* (1994)

Tabela 4.3.(4) - Teores de pesticidas no lodo da ETA Rhine na Alemanha.

PESTICIDA	ÁGUA CAPILAR ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	ÁGUA BRUTA ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	LIMITES DE DETECÇÃO ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)
Atrazina	0,014	0,11	0,01
Terbutilazina	0,011	0,06	0,01
Metolachlor	Não detectado	não detectado	0,04
Metazachlor	Não detectado	0,07	0,01

Fonte: HORTH *et al.* (1994)

E de acordo com este estudo, chegou-se a conclusão que os teores dessas substâncias eram insuficientes para acarretar riscos, quando este lodo fosse disposto em aterros.

Na **Tabela 4.2.5** a seguir, são apresentados os resultados de uma pesquisa (KIWA, 1986 *apud* Horth et al. 1994) para determinar a ocorrência de contaminantes orgânicos no lodo:

Tabela 4.3.(5) - Contaminantes orgânicos em lodos produzidos em ETAs na Holanda.

PARÂMETROS	TIPOS DE LODO			
	Água Subterrânea	Água de Superfície		
	A	B	C	D
Teor de Sólidos (% m/m)	18,6	17,7	2,1	27,7
Aromáticos (mg kg ⁻¹ sólidos secos)	0,03	9,90	102,0 0	-
PAHs (mg kg ⁻¹ sólidos secos)	0,09	23,00	nd	1,20
PCBs(mg kg ⁻¹ sólidos secos)	nd	nd	nd	nd
Pesticidas (mg kg ⁻¹ sólidos secos)	nd	0,40	0,32	0,14
EOCI (mg kg ⁻¹ sólidos secos)	< 0,70	11,00	85,00	< 0,70
THMs (mg kg ⁻¹ sólidos secos)	nd	nd	700,0 0	-
LEGENDA: A e B – Tratamento com cloreto férrico C – Tratamento com cloreto férrico e carvão ativado em pó (CAP) D – Água de lavagem de filtros PAHs – Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares PCBs – Bifenilas Policloradas EOCI – Compostos Organoclorados Extraíveis THMs – Trihalometanos nd – não detectado				

Fonte: HORTH *et al.* (1994).

Nos anos 80, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estabeleceu um método para determinar a periculosidade de um resíduo (Extraction Procedure Toxicity Test) que consistia na determinação da toxicidade pela simulação da lixiviação. Cornwell *et. al.* (1990) aplicou este teste em sessenta ETAs e o resultado pode ser verificado na **Tabela 4.2.6** a seguir:

Tabela 4.3.(6) - Resultados do teste EP Toxicity em resíduos de 66 ETAs.

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA (mg/L)	VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO (mg/L)
Arsênio	5,00	<0,2 - 0,4
Bário	100,00	<0,1 - 34,0
Cádmio	1,00	<0,005 - 0,060
Cromo	5,00	<0,1 - 3,8
Cobre	-	<0,02 - 29,60
Chumbo	5,00	<0,03 - 4,10
Mercúrio	0,20	<0,0004 - 0,0030
Níquel	-	<0,03 - 3,80
Selênio	1,00	<0,001 - 0,080
Prata	5,00	<0,01
Endrin	0,02	<0,0001
Lindano	0,40	<0,00005
Metoxicloro	10,00	<0,0005
Toxafeno	0,50	<0,001
2,4-DD	10,00	<0,005
2,4,5-TP	1,00	<0,0005

Fonte: CORNWELL *et al.* (1990)

Também são características importantes a serem considerados os parâmetros filtrabilidade, resistência específica (parâmetro que avalia a dificuldade ou facilidade a secagem), sedimentabilidade, compressibilidade, tamanho e distribuição de partículas.

A filtrabilidade e a sedimentabilidade são características físicas do lodo que dependem do teor de sólidos, dosagem de coagulante e outros compostos presentes no lodo (YUZHU, 1996). A sedimentabilidade depende do volume e do peso dos flocos formados. A compressibilidade é função do tamanho das partículas e de sua deformação pela pressão aplicada.

Segundo diversos autores (CHRISTENSEN *et al.*, 1985; GRANDIN, 1992; YUZHU, 1996), a resistência específica de lodos de decantadores de ETAs pode variar entre 0,33 e 7,35 10^{12} m/Kg. Para Grandin (1992), a resistência específica do lodo proveniente dos filtros, por sua vez, pode variar entre 0,83 e 9,58 10^{12} m/Kg.

4.4. Histórico e Panorama Mundial

4.4.1. Experiência Internacional

Para se basear esse estudo é interessante recorrer aos casos de países que já enfrentaram problemas ambientais com a disposição de resíduos e que há um certo tempo já estudam formas de controle.

A seguir, é descrita a evolução da disposição de lodos de ETA's, considerando o caso americano.

O problema dos lodos de estações de tratamento de água tem sido objeto de preocupações desde a década de 30 nos Estados Unidos, enquanto que no Brasil, somente em meados dos anos 70 é que as primeiras preocupações com o tema tiveram início.

As preocupações iniciais nos EUA, a partir da década de 30, tiveram resultados efetivos no final da década de 40, com a formação do Comitê E.5-8 da AWWA "Disposição de Resíduos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Abrandamento", cuja incumbência era a de efetuar relatos sobre:

- Resíduos de decantadores e águas de lavagem de filtros.

- Resíduos de estações de abrandamento.

No início da década de 50, 96% das ETAs nos Estados Unidos lançavam direta ou indiretamente seus resíduos nos cursos d'água, e até o final da década de 60, quase nada havia sido divulgado a respeito das características desses resíduos, somente macropropriedades dos lodos foram avaliados em 1968 em Gattes e McDermott.

Com a promulgação do Water Quality Act – WQA em 1965, estabeleceu-se uma nova ótica sobre o problema dos resíduos de ETAs, uma vez que esse ato teve como meta, a "descarga zero".

Nos EUA, a Federal Water Pollution Control Agency – FWPCA concluiu no final dos anos 60, pela necessidade do desenvolvimento de pesquisas sobre esses resíduos, sugerindo a integração entre universidades, empresas de equipamentos de saneamento, empresas responsáveis pelo tratamento de água e grupos de pesquisa, no sentido de buscar um conhecimento mais profundo sobre o assunto. Esses aspectos geraram os primeiros financiamentos para pesquisas.

Os anos 70 iniciaram-se com uma participação efetiva da AWWA, na tentativa de equacionar o problema, estabelecendo o programa "Meios de Informação sobre Controle de Poluição de Água, na Indústria da Água", cujo o enfoque principal dizia respeito à necessidade de desenvolvimento de conhecimento sobre o assunto.

Nesse período, as preocupações com as características desses resíduos situaram-se única e exclusivamente em suas macropropriedades e parâmetros tradicionais de resíduos de outras indústrias.

A partir dos anos 80, o enfoque passa a se dar na caracterização do lodo, através de suas micropropriedades, tais como: tamanho de partículas e sua distribuição, pois esses são parâmetros fundamentais na definição do método de desaguamento.

As preocupações agora tem maior ênfase no impacto ambiental causado pelo lançamento desse material, pois o alumínio não é mais um elemento inofensivo à saúde, como anteriormente se pensava. A toxicidade do alumínio para os organismos aquáticos, também teve sua ênfase.

Nos início dos anos 90, o grande marco foi o lançamento do livro "Slib, Schlaum, Sludges" elaborado pela AWWA e pela agência européia de águas. Esse manual, coordenado por Cornwel e Koopers, trouxe uma discussão sobre os grandes problemas enfrentados pelos sistemas de tratamento de água frente aos rejeitos gerados. O livro discute alternativas de gerenciamento e possibilidades futuras de formas de redução de volume de resíduos gerados.

Nos anos 90, o Brasil passou a mostrar mais preocupações com o problema dos rejeitos de ETAs. Isso fica demonstrado através de pesquisas realizadas em vários centros, tais como: Escola Politécnica/USP, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, UNICAMP, Universidade Federal do Espírito Santo, entre outras.

4.4.2. Caso Brasileiro

Estima-se que no Brasil, existam 7.500 ETAs tradicionais ou com filtração com pré floculação que aplicam dosagens variadas de produtos químicos e geram rejeitos nos decantadores e filtros. Esses rejeitos são lançados em cursos d'água próximos às estações de tratamento, resultando problemas ambientais ainda não solucionados.

Uma das questões complexas quanto a esses rejeitos diz respeito à remoção de água (separação dos sólidos da água) que pode ser realizada através de sistemas mecânicos ou naturais. Após essa remoção existe a possibilidade de se reutilizar a água e os sólidos, proporcionando uma condição mais efetiva na operação desses sistemas.

Outro problema é com respeito à quantidade desses resíduos que são desconhecidos, pois não existem programas que sejam capazes de levantar os mesmos, e além disso as suas características são pouco conhecidas.

Com respeito aos trabalhos de pesquisa realizados no país, as primeiras pesquisas desenvolvidas sobre o problema dos lodos de ETAs tiveram início na década de 70. Almeida (1975) apresentou no Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES, o trabalho que é considerado o primeiro divulgado sobre o tema.

A primeira dissertação de mestrado sobre o tema foi a de Cordeiro (1981) na Escola de Engenharia de São Carlos - USP, onde, foi desenvolvida uma discussão ampla (para a época) sobre caracterização, remoção de água e possíveis utilizações dos lodos.

A SABESP, em 1987, contratou um estudo para busca de soluções para os lodos das ETAs da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. Nesse período cinco ETAs, tratavam 47,6 m³/s e o objetivo do trabalho era buscar alternativas para recuperação de águas de lavagem, tratamento e disposição dos resíduos das ETAs.

Em 1991, a Companhia de Saneamento Ambiental de São Paulo - CETESB com preocupações sobre o aumento da poluição do Rio Piracicaba, estudou o problema dos lodos gerados em duas ETAs na cidade de Piracicaba - SP, com capacidade média total de cerca de 800L/s. Foram quantificados e caracterizados os resíduos desses sistemas e as conclusões apontadas foram vagas, evidenciando que havia problemas de poluição quando das descargas desses resíduos e foram sugeridas algumas soluções de remoção mecânica de água, principalmente aquelas mostradas no trabalho da SABESP em 1987.

Em 1992, Grandin realizou pesquisa na Escola Politécnica da USP - SP sobre a remoção de água de lodos de ETAs tradicionais, utilizando filtros - prensa. No entanto, esses estudos não tiveram continuidade, mas mostravam a necessidade de se buscar soluções adequadas para o não lançamento desse rejeitos em cursos d'água.

Em 1993, Cordeiro apresentou a tese de doutorado junto ao programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos / USP - SP, cujo título foi "O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água". Foi elaborado um estudo detalhado sobre o problema, enfocando questões de quantificação, caracterização, remoção de água e os impactos ambientais provocados em cursos d'água.

Os resultados mostraram pontos importantes tais como: a necessidade de caracterizar os lodos quanto à micro propriedades, principalmente o tamanho e distribuição das partículas, o potencial poluente resultado do lançamento dos lodos em cursos d'água.

Os resultados também mostraram que os sólidos sedimentáveis passaram de 0,4 mL/L para valores acima de 300 mL/L, indicando que esse material nunca poderia estar sendo lançado em coleções de água. No Brasil a legislação permite que esse parâmetro seja acrescido somente 1,0 mL/L.

Foram detectadas altas concentrações de vários metais pesados no córrego que recebeu a descarga de lodo, podendo ser citados: chumbo, cromo, alumínio, cádmio, entre outros.

Concluiu que os lodos são resíduos sólidos, segundo a Norma Brasileira - NBR 10.004 (2004);

4.5. Legislação Pertinente

4.5.1. Legislação Brasileira

4.5.1.1. Classificação do Lodo

O Lodo de ETA, sendo um resíduo sólido está sujeito à classificação da norma NBR 10.004 (sobre a Classificação de Resíduos Sólidos da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT)).

Segundo a norma, o lodo de ETA (como resíduo sólido deve ser classificado) em:

- Resíduo classe I – perigoso;
- Resíduo classe IIA – não perigoso (não inerte);
- Resíduo classe IIB – não perigoso (inerte).

Essa classificação é realizada de acordo com ensaios de lixiviação (padronizado pela norma NBR 10.005/04) e solubilização (NBR 10.006/04). Se o resíduo apresenta no seu extrato lixiviado (segundo ensaio de lixiviação) concentrações superiores às apresentadas na NBR 10.004, ele é classificado como perigoso (Resíduo Classe I). Se o resíduo apresentar no seu solubilizado (segundo ensaio de solubilização) concentrações superiores às apresentadas na NBR 10.004, ele é considerado não perigoso, não inerte (Resíduo Classe IIA). Os demais resíduos serão Resíduos Classe IIB.

O lodo de ETA, em geral, é classificado como resíduo não perigoso e não inerte (Resíduo Classe II A).

Embora a NBR 10004 se destine à classificação dos resíduos sólidos segundo sua periculosidade, a norma não tem por objetivo a permissão de utilização desses resíduos

“Face ao exposto, conclui-se que a ABNT NBR 10004:2004 não é uma Norma que se objetiva a permitir ou não a utilização de resíduos sólidos, cabendo a ela tão somente classificá-los como perigosos ou não perigosos, e assim servir como uma ferramenta aos diversos setores envolvidos com o gerenciamento de resíduos” (Nota Técnica sobre a NBR10004 (ABNT) disponível em http://www.abnt.org.br/m5.asp?cod_noticia=30&cod_pagina=965)

Sendo assim, a norma não restringe o ou delibera sobre os usos benéficos de resíduos em geral e da mesma forma, sobre o uso benéfico do lodo de ETAs.

4.5.1.2. Armazenamento do lodo

Qualquer forma de armazenamento do lodo deve atender as diretrizes da NBR 11.174/NBR 1264/90 (BRASIL, 1990a).

4.5.1.3. Transporte do lodo

O transporte do lodo ao local da disposição final ou onde será beneficiado deve ser realizado de acordo com a norma NBR 13.221/05 (BRASIL, 2005a).

4.5.1.4. Disposição do lodo em aterro

O aterro exclusivo do lodo desaguado deve ser projetado, implantado e operado segundo a norma NBR 13.896/97 (BRASIL, 1997a). A construção dos poços de monitoramento e amostragem deve seguir os procedimentos constantes da norma NBR 13.895/97 (BRASIL, 1997b). Nestes poços, deverá ser verificado o atendimento ao Decreto no. 32.955/91, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1991). Se a água subterrânea na região for utilizada para consumo humano, ela deverá atender os padrões de potabilidade constantes na Portaria 518/04 (BRASIL, 2004d). O nível de ruído deverá ser compatível com os limites estipulados pela norma NBR 10.151/00 (BRASIL, 2000).

4.5.1.5. Disposição do lodo no solo

A legislação estadual não permite a deposição, disposição, descarga, infiltração ou acumulação de resíduos, em qualquer estado da matéria, desde que poluentes, no solo. Este só poderá ser utilizado como destino final de resíduos, se os artigos 52 a 54 do Decreto no. 8468/76 forem atendidos. Além disto, no projeto, deverá ser verificado o atendimento aos valores orientadores estabelecidos pela Decisão de Diretoria no. 195-2005-E da CETESB, de 23 de novembro de 2005, que dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, em substituição aos Valores Orientadores de 2001 (SÃO PAULO, 2005).

4.5.1.6. Lançamento do lodo no sistema público de esgotos

O lançamento do lodo no sistema público de esgotos deverá atender ao artigo 19 do Decreto no. 15.425/80 (SÃO PAULO, 1980).

4.5.2. Legislação Internacional

4.5.2.1. Estados Unidos

A tabela a seguir traz a evolução das leis americanas para o controle de poluição, salientando que não se referem a leis específicas para lodos de ETA.

Tabela 4.5.2.1.(1) - Evolução das Leis Federais de Controle de Poluição, nos EUA

Ano	Lei	Elementos Principais da Legislação
1948	Water Pollution Control Act	Fundação das agências estaduais de controle de poluição Assistência técnica aos estados Medidas sobre ação legal contra os poluidores
1956	Federal Water Pollution Control Act	Fortalece as pesquisas e o treinamento relacionados ao controle de poluição Permite a concessão de programas de construção para municípios
1965	Water Quality Act	Estabelece o padrão de qualidade de água (Estados) Estados iniciam a preparação dos planos anti-poluição
1972	Federal Water Pollution Control Act (emendas)	Estabelecimento da descarga zero de poluentes Estabelece as melhores práticas e avaliações de tratamento Estabelecimento da NPDES
1977	Clean Water Act	Estabelecimento de controle de substâncias tóxicas Melhoria no tratamento convencional
1981	Municipal Water Treatment Consideration Grants Amendment	Reduz a ação federal em concessão para programas de construção

Fonte: Cornwell e Koppers (1990)

O CWA - Clean Water Act teve início em uma série de leis, promulgadas a partir de 1912, cujo objetivo era a manutenção da qualidade das águas superficiais, [Cornwell e Koppers (1990)]. Em 1912, foi promulgada a Public Health Service Act, em 1924 Oil Pollution Act e em 1956 o Federal Water Pollution Control Act - FWPCA, que emendado em 1972, iniciou o esforço da não permissão de descargas de qualquer poluente nos cursos d'água superficiais. Esse ato permitiu o estabelecimento do NPDES - National Pollutant Discharges Elimination System.

O CWA - Clean Water Act de 1977 fixou o controle sobre substâncias tóxicas. Esse texto lista um total de 65 substâncias ou classes de substâncias que devem ser utilizadas como base para definir toxicidade.

Atualmente nos EUA, são definidos critérios e padrões. Os critérios são estabelecidos através de metas pela US Environmental Protection Agency (USEPA) e os padrões são geralmente estabelecidos pelos estados, de forma individual.

Vale acrescentar que de acordo com o Título 40 parte 261 do CFR (Code of Federal Regulation), dependendo do uso a ser feito para um resíduo, o mesmo não se enquadra mais como um resíduo sólido, e dessa forma não há mais necessidade de serem realizados os ensaios de lixiviação e solubilização. Essa condição vale para o lodo e, portanto, dependendo do uso benéfico a ser dado a ele, o mesmo passa a não ser mais considerado como resíduo sólido, assim o seu uso benéfico é incentivado.

4.5.2.2. Alemanha

A legislação alemã, que regulamenta a disposição de lodos, é composta por:

- Nuisance Act (NA) - resíduos não estabelecidos;
- Nuclear Power Act (NPA) - leis específicas sobre lodos radioativos;
- Mining Legislation - regulamenta os resíduos gerados em minas;
- Chemical Waste Act (CWA) lodos químicos e resíduos de óleos (1976);
- Waste Product Act (WPA) regulamenta todos os resíduos produzidos (1977);
- Surface Water Pollution Act (SWPA) - regulamenta o lançamento de resíduos nas águas;
- Soil Protection Act (SPA) - regulamenta o lançamento e disposição de resíduos nos solos.

Até 1970, o Nuisance Act (NA) era a única lei que regulamentava disposição de qualquer tipo de resíduos. Após 1970, com a necessidade de regulamentações mais específicas sobre o meio ambiente (água, solo, ar) e a manutenção do controle ambiental, passou-se a discutir a elaboração de novas leis. A partir daí, a Surface Water Pollution Act – SWPA passou a proibir a introdução de qualquer tipo de resíduo nas águas superficiais, sem a devida licença de autoridades.

Algumas limitações incluídas nessa legislação estipulam que:

- o material disposto não pode conter substâncias tóxicas em quantidades e concentrações que podem influir na atividade biológica das águas superficiais.

- os resíduos não deverão conter materiais que possam causar mudança na cor e odor.

O Chemical Water Act - CWA, em 1979, passou a incluir um apêndice onde são listadas quatro classes de substâncias presentes nos lodos. Essas classes são divididas em função do teor de cada substância em particular, em relação aos sólidos totais produzidos. Os limites são:

- Classe A - 50 mg/kg sólidos secos
- Classe B - 500 mg/kg sólidos secos
- Classe C - 20.000 mg/kg sólidos secos
- Classe D - 50.000 mg/kg sólidos secos

A **Tabela 4.5.2.2.(1)** a seguir apresenta algumas limitações definidas pelas regulamentações alemãs sobre a disposição de resíduos de estações de tratamento de água nas águas superficiais.

Deve-se ressaltar que nessa tabela é incluído o ferro, em virtude dos serviços de água da Alemanha utilizarem sais de ferro como coagulantes.

Tabela 4.5.2.2.(1) - Limites de Lançamento de Alguns Parâmetros de Resíduos de ETAs Segundo Regulamentação Alemã

Parâmetro	Limitações		
Ferro	usualmente	≤	5 mgFe/L
	ocasionalmente	≤	2 mgFe/L
Sólidos em Suspensão		≤	30 mg/L
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)		≤	0,3
pH	entre		6,5 e 8,5
DQO	20 mgO ₂ /L		
Nitrogênio (Kjeldahl)	1 mg/L		

Fonte: Koppers, H.M.M. (1982)

Para o lançamento de lodos de estações de tratamento de água no solo, misturados ou não a lodos de estações de tratamento de esgotos, o Soil Pollution Act SPOA fixa teores permissíveis de metais pesados (**Tabela 4.4.2.2.2**).

Tabela 4.5.2.2.(2) – Teores Máximos de Metais Pesados Permitidos em Mistura de Lodos para Lançamento no Solo, Segundo a Soil Pollution Act- SPOA (Alemanha)

Componentes	mg/Kg de sólidos secos		
	1987-1991	1991-1995	1995
Arsênio	25	25	-
Cádmio	5	2	1
Cromo	300	200	60
Cobre	500	300	60
Chumbo	600	200	180
Mercúrio	3	2	0.7
Níquel	60	50	30
Zinco	1300	900	240

Fonte: Cornwell e Koppers (1990)

4.6. Tratamento do Lodo

O lodo produzido em ETAs, geralmente, contém grande teor de água (97,0% - 99,9%). Por isso, estes resíduos, normalmente, precisam ser dispostos mediante tratamento adicional, que consiste em aumentar o teor de sólidos do lodo através de adensamento, condicionamento e desaguamento.

Além de ser importante para concentrar os sólidos, este tratamento também reduz o volume do lodo.

Algumas opções e possíveis seqüências para tratamento de lodos estão descritas na **Figura 1** a seguir.

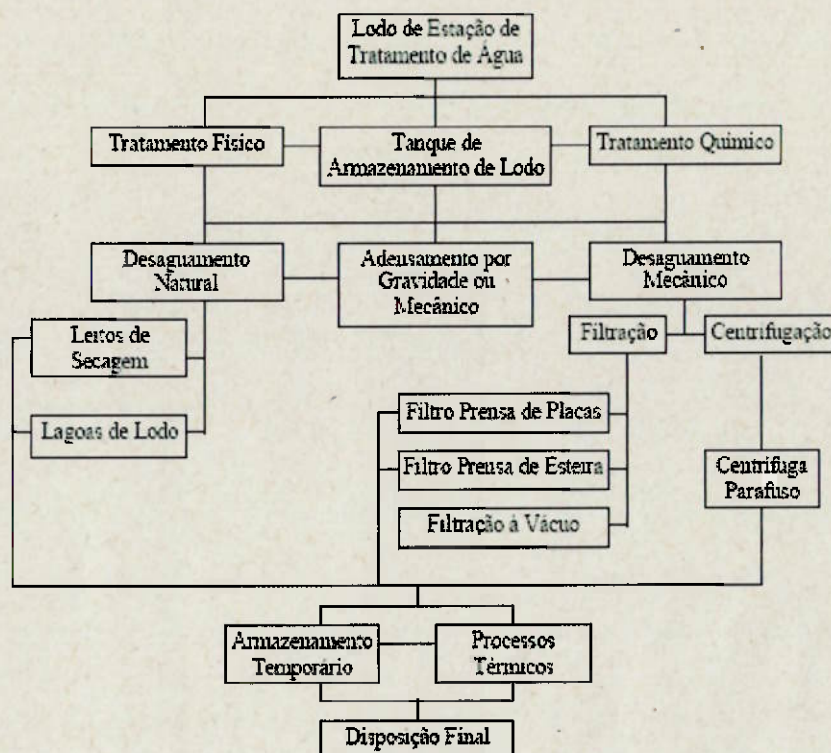


Figura 4.6.(1) – Opções para tratamento de lodos de estações de tratamento de água (adaptado de CORNWELL et al., 1990).

A água é removida para reduzir o percentual de umidade do lodo, diminuindo o volume a ser disposto. O teor de sólidos pode ser aumentado para valores entre 15 e 30%, dependendo do método utilizado (SOUZA FILHO, 1998). O desaguamento pode ocorrer de forma natural ou mecânica.

O desaguamento natural não envolve processos mecânicos utilizando apenas agentes naturais, como a ação da gravidade e a evaporação. Tem-se, por exemplo, os leitos de secagem e lagoas de lodo.

Para o desaguamento mecânico, atualmente, os equipamentos mais usados são: centrifugas, filtro prensa de placas e filtro prensa de esteira.

Richter (2001) cita que a fração de água no lodo pode ser classificada em três categorias: (1) água livre, que não está intimamente ligada aos sólidos do lodo; (2) água capilar e a aderida na superfície dos sólidos; (3) quimicamente ligada - hidratação.

Cada tipo de água é retirado do lodo preferencialmente por algum processo, ou em alguma etapa específica do tratamento.

A água livre pode ser separada dos sólidos por gravidade ou por filtração, através de adensadores por gravidade ou por flotação e dos “decantadores” centrífugos. Os leitos de secagem, dispositivos constituídos de um meio poroso, que permite escoamento e evaporação complementar, são eficientes na remoção de água livre.

Nesse processo, alcança-se teores de sólidos da ordem de 15-25%, comparáveis com os resultados obtidos nos dispositivos mecânicos.

Já a água capilar e a aderida por tensão superficial só podem ser removidas nos Filtros. Os aparelhos mecânicos mais usados para esta finalidade são o filtro prensa tradicional, o de correia ou prensa desaguadora.

Para auxiliar no processo de desaguamento são utilizados os condicionadores. Os principais métodos são: congelamento, tratamento térmico, aplicação de auxiliares físicos e de produtos químicos, o mais utilizado.

A função do condicionador é basicamente melhorar a propriedade estrutural do lodo, para permitir a drenagem da água, aumentar a recuperação de sólidos e diminuir o tempo de ciclo do processo de desaguamento.

O tratamento dos lodos funciona também para possibilitar a recirculação da água de lavagem dos filtros e da água removida dos lodos, minimizando assim as perdas físicas de água.

Mas, a prática da recirculação da água traz como preocupação o risco potencial à saúde do consumidor, devido à presença de cistos e oocistos de protozoários oportunistas.

Vale ressaltar que, no processo de tratamento do lodo, a presença de metais pesados no resíduo ou na água de lavagem pode ser danosa. Barroso et al. (2001) afirmou que os metais (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Cr, Mn) e em especial o alumínio, exercem papel de destaque devido às suas potenciais ações tóxicas, além de seus possíveis efeitos positivos e negativos nas técnicas de tratamento, disposição e reutilização desses resíduos.

O conhecimento da destinação final a ser dada ao lodo é importante para assim se escolher o tipo de tratamento a ser empregado. Pode-se, por exemplo, determinar a umidade que o lodo deverá atingir, analisar os efeitos do uso de polímeros e outros condicionadores, aspectos esses que ajudarão a orientar na escolha de um tratamento.

A **Tabela 4.6.1** a seguir apresenta os teores de umidade atingidos em ensaios efetuados por diferentes autores, utilizando diversos sistemas de tratamento de lodos, analisando para cada uma das formas de disposição final / usos benéficos, a viabilidade ou não do tratamento. A tabela somente avalia teor de sólidos, sendo necessário, para os diferentes usos, verificar também outros parâmetros de qualidade do lodo.

Tabela 4.6.(1) - Teores de umidade dos lodos após tratamento e atendimento aos requisitos de diferentes formas de disposição/ usos benéficos.

AUTORES	TIPO DE TRATAMENTO EMPREGADO	Umidade no Fim do Processo (%)	Aterro Sanitário	ETE ^(a)	Indústria ^(b)	Agricultura ^(c)	Solo ^(d)	Construção Civil ^(e)
PORTIELLA <i>et al.</i> (2003)	Adensador - Centrífuga Tipo Decanter	86.4 - 87.5	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
PAULSRUD <i>et al.</i> (2002)	Adensador por Gravidade	97.5 - 98.5	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Adensador por Gravidade + Centrífuga	80.0 - 85.0	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
BACHE <i>et al.</i> (2002)	Adensador - Filtro Prensa de Esteira	85	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
RASOOL <i>et al.</i> (2002)	Adensador + Filtro Prensa de Membrana	82	Não	Não	Sim	Não ^(f)	Não ^(g)	Sim
RICHTER (2001)	Prensa Desaguadora ^(h)	50.0 - 60.0	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Prensa Desaguadora ⁽ⁱ⁾	80.0 - 85.0	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Centrífuga Tipo Decanter ^(j)	65.0 - 85.0	Sim ^(k)	Não	Sim	Sim ^(l)	Sim ^(m)	Sim
	Centrífuga Tipo Decanter ⁽ⁿ⁾	82.0 - 84.0	Não	Não	Sim	Não ^(o)	Não ^(p)	Sim
	Filtro Prensa ^(q)	50.0 - 60.0	Sim	Não	Sim	Não ^(r)	Não ^(s)	Sim
CORNWELL <i>et al.</i> (1990)	Filtro Rotativo a Vácuo	60.0 - 65.0	Sim	Não	Sim	Não ^(t)	Não ^(u)	Sim
	Filtro Prensa	65.0 - 70.0	Sim ^(v)	Não	Sim	Não ^(w)	Não ^(x)	Sim
	Centrífuga ^(y)	78.0 - 81.0	Sim ^(z)	Não	Sim	Não ^(aa)	Não ^(ab)	Sim
	Sem tratamento	-	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não

LEGENDA: ^(a) exceto lodo de sulfato; ^(b) lodo de sulfato; ^(c) lodo de cal; ^(d) coagulação com alumínio; ^(e) 30% sólidos; ^(f) quanto mais líquido melhor (Decreto nº 8.468/76 (SÃO PAULO, 1976) materiais sedimentáveis até 20 mL/L em teste de 1 (uma) hora em "cone Imhoff"); ASCE, AWWA, USEPA, 1996 (1% a 8% sólidos); ^(g) depende da aplicação, quanto menor a umidade, melhor; ^(h) depende do produtor ou do órgão que fará uso do lodo; ⁽ⁱ⁾ ASCE, AWWA, USEPA, 1996 (1% a 25% sólidos); ^(j) 25% sólidos (ASCE, AWWA, USEPA, 1996); ^(k) ASCE, AWWA, USEPA, 1996 (1% a 15% sólidos); ^(l) 15% sólidos (ASCE, AWWA, USEPA, 1996).

4.7. Quantificação do lodo de uma ETA

Existem duas situações para a quantificação do lodo de ETA. A primeira ocorre quando o sistema de tratamento de lodo é dimensionado conjuntamente com a estação de tratamento de água. E a segunda ocorre quando se projeta um sistema de tratamento de lodo para uma ETA já existente. No primeiro caso pode-se obter a quantidade de lodo por fórmulas empíricas. Já no segundo caso a quantidade de lodo gerado pode ser estimada pela determinação dos sólidos provenientes das descargas dos decantadores conjuntamente com a vazão das mesmas. Em ambos os casos, é conveniente o levantamento de dados da qualidade da água e do consumo de produtos químicos durante um período de, no mínimo, um ano.

Há diferentes fórmulas empíricas que podem ser utilizadas para estimar a quantidade de lodo:

American Water Work Association - AWWA (1978)

$$P = 3,5 \times 10^{-3} \times 0,66 T$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

T – turbidez da água bruta

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m³/ s)

Water Research Center - WCR (1979)

$$P = (SS + 0,07 \times C + H + A) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

SS – sólidos em suspensão na água bruta (mg/L)

C – cor na água bruta (°H)

H – hidróxido coagulante (mg/L)

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L).

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m³/s)

Association Francaise Pour L'etude Des Eaux – AFEE (1982)

Utilizando-se:

SS = 1,2 x Turbidez (uT) da água bruta

C (°H) = Cor aparente da água bruta (uC)

H = Constante de precipitação para o sulfato de alumínio (0,17) x Dosagem de coagulantes (mg/L)

Tem-se:

$$P = (1,2 \times T + 0,07 \times C + 0,17 \times D + A) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

T – turbidez da água bruta (uT)

C – cor aparente da água bruta (uC)

D – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L).

CETESB

$$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

AS – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T – turbidez da água bruta

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m³/s)

CORNWELL

$$P = (0,44 \times AS + 1,5 \times T + A) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

AS – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T – turbidez da água bruta

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L).

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m³/s)

KAWAMURA (1991)

$$P = (D \times Fc1) + (T \times Fc2)$$

P – produção de sólidos (g de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

D – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

Fc1 – fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio. Usualmente varia entre 0,23 a 0,26.

Fc2 – razão entre a concentração de sólidos suspensos totais presentes na água bruta e turbidez da mesma. Geralmente na faixa de 1,0 a 2,0.

4.8. Formas de Disposição de Lodos de ETAs

A maioria das estações de tratamento de água brasileiras lança os seus resíduos sólidos nos corpos d'água mais próximos ou na rede de águas pluviais, sem nenhum tratamento, o que favorece o aumento do grau de poluição e contribui para uma maior degradação do meio ambiente. Além disto, ocasiona aumento na quantidade de sólidos nos corpos d'água, provocando assoreamento indesejável, mudanças de cor, turbidez e alterações em termos de composição química e DQO.

A AWWA (1991) apud Barbosa (2000), através de avaliação do lançamento de lodos de ETAs no ambiente aquático, concluiu que: (1) lodos de ETAs não deviam ser lançados em riachos com águas ácidas (pH<6); (2) descargas de lodo de ETAs em águas superficiais brandas (dureza menor que 50 mg CaCO₃/L) deviam ser evitadas; (3) avaliações ambientais relativas à disposição de lodos de ETAs em águas superficiais seriam necessárias, considerando-se fatores como o uso da água do corpo receptor, estrutura do sedimento, aspectos hidrológicos e biologia aquática, para que se determinassem os efeitos deletérios destas descargas ao ecossistema.

No Brasil, ainda há pouca experiência em relação aos resíduos gerados em decantadores de ETAs completas. Portanto, o impacto provocado pelo lançamento desse rejeito em cursos d'água é relativamente desconhecido. Estima-se que mais de 1.000 toneladas diárias de sólidos sejam lançadas em corpos de água brasileiros, sem nenhum tratamento (proveniente de 7500 ETAs), mas as condições atuais indicam que provavelmente a quantidade real de lodo gerado é maior.

Esta realidade justifica a importância de se discutir e encontrar alternativas para a disposição e o uso benéfico do lodo proveniente das ETAs brasileiras.

Pesquisadores de países como os Estados Unidos e a Inglaterra já realizaram estudos neste sentido há alguns anos. Mesmo no Brasil, algumas alternativas já foram avaliadas e aplicadas visando a redução do resíduo ou o melhor uso do mesmo. Na Alemanha, a produção de lodo está sendo analisada em cada estação, com o objetivo de evitá-la onde for possível.

Analisando os estudos realizados nestes países, pode-se afirmar que dentre as principais destinações que o lodo pode ter atualmente estão: aterro sanitário, estações de tratamento de esgotos (ETEs), indústrias, agricultura, disposição no solo e construção civil.

4.8.1. Aterro Sanitário

Para dispor o lodo em aterros sanitários, é necessário que ele siga padrões e não ultrapasse alguns valores máximos especificados para certos parâmetros. O material também não pode ser um resíduo perigoso, não sendo assim tóxico, corrosivo, inflamável, irritante, sensibilizador forte ou material que produz calor ou pressão através da decomposição.

Deve-se evitar que existam líquidos livres em sua composição, para não haver percolação e nem a possibilidade de elementos lixiviados contaminarem águas subterrâneas ou comprometerem a qualidade do solo.

Para a disposição do resíduo em aterros é necessário, portanto, que ele seja desaguado até que apresente um teor de sólidos superior a 25% (CORDEIRO, 1993) e análises devem ser realizadas a fim de garantir que ele não se constitua em material perigoso. Somente com estas análises será possível garantir que o lodo possa ser disposto junto com os outros resíduos sólidos sem causar impactos negativos.

É interessante notar que a diretiva europeia sobre resíduos perigosos (THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1991) classifica o lodo de estações de tratamento de água como perigoso. Com esta classificação, a diretiva europeia sobre aterros (THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 1999) obriga que este tipo de resíduo seja disposto em aterros para resíduos perigosos.

Para muitos, a aplicação dos lodos em aterros é considerada a mais segura no sentido de conter a contaminação ao ambiente e é bastante utilizada. Mas, deve-se considerar que, no caso brasileiro, grande parte dos aterros está no seu limite de operação, e muitos já se encontram em fase de desativação, e adicionando a isso as altas taxas de lodo produzidos por dia, resultaria em uma grande sobrecarga aos aterros.

Além disto, há as altas taxas cobradas pelos aterros por tonelada de lodo recebido, e o custo de transporte, o que torna interessante o estudo de alternativas de disposição do lodo de ETAs.

Analisando casos em outros países, nota-se que a tendência é reduzir a disposição em aterros, buscando assim os usos benéficos dos resíduos, e no caso do lodo não é diferente.

4.8.2. Estação de Tratamento de Esgoto

Considerando que a maior parte do lodo de ETA é constituída de água, é possível a disposição do lodo de ETA em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), porém suas características são muito diferentes do esgoto doméstico e caso haja toxicidade no lodo de ETA, o bom funcionamento da ETE pode ser comprometido e afetar o corpo d'água receptor do efluente da ETE.

Esta forma de disposição do lodo de ETA é limitada pela aplicação de padrões mais rígidos no pré-tratamento de esgotos, pela capacidade das estações de tratamento de esgoto, pelos possíveis impactos no desempenho dos digestores e pela necessidade de atender a padrões de emissão mais restritivos para o efluente final.

4.9. Potenciais usos benéficos de lodos de ETA

4.9.1. Indústrias de cimento

O lodo apresenta em sua composição vários elementos químicos que podem ser úteis para a aplicação em indústrias.

Os elementos necessários para a produção de cimento são: alumínio, cálcio, ferro e sílica que são retirados de argilas, xistos, minério de ferro e bauxita para se obter a quantidade ideal de cada elemento.

O lodo de ETA comumente contém esses elementos e seu uso reduziria a quantidade desses materiais comprada pela indústria de cimento, e assim poderia reduzir os custos da indústria. Além disso, a menor quantidade de álcalis apresentada pelo lodo, quando comparado com a argila e o xisto, reduz a probabilidade de ocorrência de expansão e fissuras nas estruturas de concreto (Andrade, 2004).

4.9.2. Concreto

Segundo Hoppen et al. (2003), uma mistura de 3% de lodo de ETA em relação à massa seca de areia no concreto pode ser utilizada para a fabricação de artefatos, estruturas pré-moldadas e pavimentos em concreto, pois:

- Alguns componentes do concreto não atenderam as normas, porém não comprometeram as propriedades do concreto endurecido.
- Nos ensaios de resistência à compressão, tanto o concreto utilizado como referência, quanto o concreto com 3% de lodo apresentaram valores acima de 25 MPa para 7 e 28 dias.

Buttler et al. (2003) estudaram a incorporação dos lodos das ETAs Rio Claro e São Carlos e das frações graúda e miúda do agregado reciclado (recolhido de diversas obras localizadas em São Carlos) em matrizes de concreto. Foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas dos concretos preparados com diferentes tipos de agregado (naturais e reciclados) e dosagens de lodo.

O traço (em massa) para o concreto de referência (com agregados naturais) foi de 1:2:3 e a relação água/cimento (a/c) igual a 0,53. Os lodos foram adicionados aos concretos em teores que se situaram entre 1 a 5%, em substituição à fração miúda.

Os autores concluíram que, para o caso estudado, a origem do lodo não era um fator que influenciava significativamente a resistência à compressão e a absorção. Enfatizaram, ainda, a potencialidade do uso de tais materiais na construção civil, especialmente para confecção de elementos não estruturais de concreto.

Almir Sales et al., propôs um compósito à base de serragem de madeira e lodo. O produto resultante do processo é um agregado artificial composto dos resíduos de serragem de madeira e lodo de estação de tratamento de água, que substitui a pedra britada na preparação do concreto utilizado em lajes e em painéis de vedação. Entre as vantagens do invento, destaca-se o peso reduzido, menor que o do concreto normal, aproximadamente 30% mais leve, reduzindo o custo final em um sistema estrutural de concreto armado.

4.9.3. Agricultura

A utilização do lodo de ETA na agricultura não provoca impactos significativos ao crescimento das espécies vegetais, porém pode gerar alguns aspectos positivos como: melhoria na estrutura do solo, ajuste do pH, adição de traços de minerais, aumento da capacidade de retenção de umidade e aeração do solo.

Esta utilização pode apresentar também alguns aspectos negativos como: problemas de toxicidade devido ao alumínio presente no lodo e a tendência do ferro do lodo capturar o fósforo disponível para a plantação.

(Slib, Schlamm, Sludge" – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990)

4.9.4. Recuperação de Áreas Degradadas

O lodo de ETA pode ser utilizado para a recuperação do solo, com o intuito de reabilitá-lo ao crescimento de plantas. Esta prática pode ser utilizada em áreas suscetíveis a erosão como locais utilizados para extração mineral ou onde foram realizadas atividades em que se fez necessária a remoção do solo de superfície.

(Slib, Schlamm, Sludge" – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990)

4.9.5. Cerâmica

O lodo de ETA pode ser utilizado na confecção de peças cerâmicas como tijolos e telhas, pois as composições físicas e químicas do lodo se assemelham às características dos materiais utilizados na produção de tijolos e telhas.

Os resíduos do tratamento de água são constituídos de argila, areia, silte, matéria orgânica e compostos químicos que se formam durante a coagulação, floculação,

sedimentação e filtração. Estes resíduos, com uma grande quantidade de argila, podem ser um bom material para a produção de peças cerâmicas.

(Slib, Schlamm, Sludge" – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990)

4.9.6. Cobertura de Aterros

Alguns pesquisadores norte-americanos (CORNWELL et al., 2000) encontraram alternativas para o uso benéfico do lodo no próprio aterro. O resíduo, ao invés de ser disposto como os demais, pode ser utilizado na cobertura, substituindo o aterramento convencional com argila. O principal problema é o custo para desaguamento e o transporte do lodo até o aterro, que depende da distância entre o mesmo e a ETA. (Slib, Schlamm, Sludge" – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990)

Em contato realizado com a professora Maria Eugênia, fomos informados de que o uso do lodo para cobrir células não é viável, uma vez que provocaria instabilidade do ponto de vista geotécnico, mas ela disse que o lodo poderia ser usado como material para a cobertura que é realizada diariamente no aterro, que não necessita de material nobre.

4.9.7. Recuperação de Coagulantes

Desde o século XIX procura-se formas de se recuperar e reutilizar os coagulantes presentes no lodo de ETA. O primeiro processo patenteado de recuperação de coagulante foi inventado por W. M. Jewel em 1903. Hoje em dia existem vários outros métodos como a acidificação com ácido sulfúrico, tratamento alcalino, extração líquido/líquido, o conceito de redução-acidificação, o processo de membrana Donan entre outros.

Como vantagens da recuperação e reutilização de coagulantes podemos destacar a possibilidade de adequar o lodo de ETA de acordo com os padrões necessários para a sua disposição num custo mais reduzido, redução do volume e conseqüentemente redução do custo de disposição, diminuir a possibilidade de acumulação de metais e nos efeitos da lixiviação na sua disposição.

Apesar do fato do processo de recuperação poder apresentar algumas dificuldades, resultados de testes em laboratórios e testes em escala real mostraram que o processo é prático e pode promover alguns benefícios econômicos. Em Orly, na França, o coagulante recuperado é reciclado com o coagulante novo. Já na Holanda estima-se que todo ferro recuperado tem o potencial de suprir entre 20 a 70% do ferro demandado para a remoção de fósforo se o processo de remoção química do fósforo for adotado. Porém segundo Petruzelli et al. (1998, 2000), a pureza do coagulante recuperado pode não ser suficiente para justificar o seu uso além do processo poder ser difícil e caro.

Utilização do lodo como coagulante no tratamento de águas residuárias

Enquanto questões como a pureza do coagulante e custo limitam o emprego das técnicas de recuperação de coagulantes, muitas tentativas para a utilização direta do

lodo de ETA no tratamento de águas residuárias foram feitas. Segundo um estudo de Horth et al. (1994), sob certas condições de adição ótima de lodo o tratamento e as características finais do lodo melhoraram de forma significativa. Na França foi relatado que a utilização de lodo com hidróxido de alumínio no tratamento do esgoto sanitário se mostrou muito efetivo na retirada do fosfato, tendo uma taxa de eficiência superior a 94% para uma dose com concentração de aproximadamente 3,5 mmol/L. Em outro estudo feito com água residuária de uma refinaria de óleo vegetal, Basibuyuk e Kalat (2004) mostraram que o lodo de ETA é excelente para a remoção de óleo, graxa, carbono orgânico dissolvido e sólidos suspensos totais no pH ótimo de 6 e na concentração de 1100 mg de sólidos suspensos por litro. Foi reportado também que a remoção de cores das águas residuárias de indústria têxtil correspondeu às expectativas, só não podendo ser aplicado em tintas hidrofílicas.

4.9.8. Remoção de Fósforo de águas residuárias

Um dos usos benéficos para o lodo de ETA é na remoção de fósforo de águas residuárias. Essa capacidade do lodo adsorver o fósforo é função da grande quantidade de íons de alumínio presentes que melhora o processo de adsorção e de precipitação química. A absorção do fósforo é fortemente dependente do pH. Isso ocorre porque a mudança no pH leva a uma alteração da configuração da superfície da partícula do lodo. Assim com o aumento do pH, a carga da superfície se altera, passando de positivo para negativo. O aumento do pH acarreta numa maior competição entre o fósforo e o OH⁻ por um espaço onde se possa ficar ligado à superfície. Além disso um pH menor faz com que os grupos hidroxilas da superfície da partícula sejam liberados aumentando a capacidade de absorção. Resultados de testes mostraram que o lodo tem uma maior afinidade seletiva pelo fósforo do que por outros ânions como o Cl⁻ e o SO₄²⁻.

4.9.9. Mineração

O lodo proveniente dos processos de remoção de "dureza" na água possui características favoráveis para que seja usado em áreas de mineração. Esse tipo de lodo pode recuperar áreas degradadas pela neutralização de solos ácidos, já que a disposição desse tipo de lodo impede a descarga de compostos ácidos¹.

A quantidade de lodo que pode ser disposta em minas é estimada em 2.2 Kg de sólido seco por metro quadrado². BITAR, Omar Yazbek "Avaliação da Recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo", São Paulo-SP, 1997

¹ "Slib, Schlamm, Sludge" pp.273 – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990

² "Slib, Schlamm, Sludge" pp.273 – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990

4.9.10. Siderurgia

Os lodos que contêm altos teores de Ferro podem ser usados como matéria primas na fabricação do aço. Entretanto a concentração de sólidos deve estar entre 70 e 80% enquanto que a concentração de Ferro deve ser de 50%³. Uma concentração alta de arsênico, também seria favorável.

Entretanto a presença de halogênios de cloro, bromo e fluor, podem reduzir o ponto de fusão do alumínio. Em estruturas constituídas por tijolos, cimento e armações de alumínio, isso seria um problema, pois o derretimento do alumínio provocaria danos à estrutura. Como a presença desses compostos é uma característica dos lodos de ETAs (águas superficiais), talvez um seja necessário que se faça um pré-tratamento antes de sua utilização.

5. Proposta de Método - Metodologia de Elaboração de um Plano Diretor

5.1.1. Revisão Bibliográfica

Nessa etapa serão feitas revisões de estudos já realizados sobre o assunto, consulta a trabalhos técnicos e Planos Diretores já existentes, para dessa forma, adquirir um know how e visão geral do assunto.

5.1.2. Levantamento de Dados

Os dados serão obtidos por meio de contato com órgãos tais como: SABESP, IBGE, Emplasa, DNPM, ANICER, IPT, EMBRAPA, CATI, IAC, ÚNICA, Cosipa, CSN, e por meio de consultas em Bibliotecas e entrevistas técnicas.

Serão levantados todos os dados disponíveis das ETA's tais como localização, dimensão, quantidade de água tratada entre outras informações relevantes.

Também serão obtidos dados regionais tais como a localização de cerâmicas, siderúrgicas, cimenteiras, jazidas, concreteiras, áreas passíveis de erosão, áreas potenciais para agricultura, aterros sanitários e mineradoras. Levantamento da produtividade de cada uso potencial demanda, previsão para o médio/longo prazo e no caso de aterros sanitários informações tais como: tempo de vida útil e área do aterro.

Realizar-se a um levantamento da literatura sobre os usos benéficos de lodos de ETAs e formas de disposição, entrevistas com especialistas em concretos, agricultura, cerâmica, mineração, aterros sanitários, erosão, siderurgia e cimenteiras para avaliação do potencial de uso do lodo, tendo como objetivo determinar quais os usos benéficos são viáveis do ponto de vista técnico.

³ "Slib, Schlamm, Sludge" pp.273 – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990

Foi elaborado um Dossiê do Resíduo (**Anexo I**), e levantados dados referentes às características mineralógicas (**Anexo II**) do lodo. Essas informações serão apresentadas aos especialistas das áreas previamente determinadas no estudo da literatura (em sua maioria docentes da USP), onde serão analisadas as restrições, vantagens e desvantagens de cada uso benéfico (determinado previamente no estudo da literatura)

O contato com os especialistas seguirá as diretrizes propostas pelo Formulário de Entrevistas (**Anexo III**).

Também devem ser levantados dados bibliográficos sobre os usos benéficos e assuntos pertinentes que estejam correlacionados abordando questões tais como: impactos ambientais associados (positivos e negativos), saúde ocupacional e questões econômicas.

5.1.3. Análise da Consistência dos Dados

Todo Plano Diretor necessita de dados consistentes, no caso do atual estudo os dados relativos à produção de lodo são imprescindíveis para a elaboração de estratégias de usos do mesmo.

Para a análise da consistência dos dados relativos à produção de lodo foram realizados os seguintes levantamentos:

5.1.3.1. Análise estatística dos dados de Turbidez e Sólidos em suspensão nos corpos d'água do Estado de São Paulo.

Será analisada a correlação entre Turbidez e sólidos em suspensão, e qualidade da Turbidez como parâmetro para estimar a produção de lodo.

Esta etapa consiste na verificação da validade das fórmulas já existentes para a quantificação do lodo produzidos nas Estações de Tratamento de Água nas bacias hidrográficas em estudo. Essas fórmulas relacionam a turbidez da água com a quantidade de sólidos suspensos para estimar a geração do lodo.

Primeiramente nos será fornecido os dados de turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais e cor verdadeira obtidos do monitoramento das bacias realizadas nos postos de monitoramento da Cetesb. Em seguida será realizado o primeiro tratamento desses dados. Assim relacionamos os quatro dados de acordo com o ponto de monitoramento e da data de coleta, eliminando os dias de coleta na qual faltam dados sobre a turbidez ou sobre os sólidos totais e os sólidos totais dissolvidos, e calculamos os sólidos em suspensão. O

próximo passo será eliminar da nossa base os pontos de monitoramento na qual não há dados suficientes para a nossa análise. Com os dados restantes calculamos a média, o desvio padrão e a correlação entre a turbidez e os sólidos suspensos de cada posto de monitoramento. A partir da média e do desvio padrão será realizado o segundo tratamento de dados. Nela serão excluídos os dias de coleta onde ou o dado de turbidez ou o dado de sólido em suspensão estivesse fora do intervalo formado pela média $\pm 2x$ o desvio padrão. Com a nova base de dados formada foi novamente calculada a correlação de acordo com os pontos de monitoramento.

Se a partir de tal análise for concluído que a correlação entre Turbidez e Sólidos em Suspensão não é válida, será proposta uma nova forma de calcular a produção de lodo, em relação à usada atualmente pela Sabesp.

5.1.3.2. Análise das tipologias de água para os parâmetros:

5.1.3.2.1. Cor

5.1.3.2.2. Turbidez

Procedimento para Análise de Turbidez:

- Ligar o Turbidímetro 15 minutos antes de cada trabalho
- Homogeneizar a amostra que vai ser trabalhada
- Colocar o conteúdo homogêneo nos tubos de vidro correspondente ao aparelho
- Limpar as paredes do tubo de vidro com um papel higiênico de modo que não fiquem as paredes sujas ou molhadas, para que a luz possa ser transmitida sem desvio.
- Colocar o tubo com a amostra no turbidímetro
- Apertar a tecla ENTER e fazer a leitura.

5.1.3.2.3. Sólidos Totais (ST)

Procedimento:

- Calcinar a cápsula de porcelana na mufla a 550 °C $\pm$ 50 °C por 1 hora.
- Deixar resfriar em dessecador
- Tarar, anotando o peso P_0
- Retirar uma alíquota de amostra e passar para um béquer de 600 mL
- Manter a amostra sob agitação

- Retirar do béquer, com auxílio de uma proveta, 100 mL de amostra
- Transferir para a cápsula
- Transportar, manuseando com luvas, a cápsula até a estufa
- Deixar em estufa a 103-105 °C até peso constante
- Retirar a cápsula da estufa, com auxílio de uma pinça de Mohr, e deixar esfriar em dessecador.
- Pesar e anotar o peso P_1 .

5.1.3.2.4. Sólidos Dissolvidos Totais (SD)

Procedimento:

- Calcinar a cápsula de porcelana na mufla a 550 °C $\pm$ 50 °C por 1 hora.
- Deixar resfriar em dessecador
- Tarar, anotando o peso P_0
- Retirar uma alíquota de amostra e passar para um béquer de 600 mL
- Montar o sistema de filtração utilizando um kitassato e aparato de filtração
- Acomodar uma membrana de 0,45 μ m
- Filtrar um volume pré-determinado de amostra
- Retirar do filtrado, com auxílio de um balão volumétrico ou pipeta volumétrica, um volume pré-determinado de amostra
- Transferir para a cápsula previamente tarada
- Transportar, manuseando com luvas, a cápsula até a estufa
- Deixar em estufa a 180 °C $\pm$ 2 °C até peso constante
- Retirar a cápsula da estufa, com auxílio de uma pinça de Mohr, e deixar esfriar em dessecador
- Pesar e anotar o peso P_1 .

5.1.3.2.5. Sólidos em Suspensão Totais (SS)

- Calcinar a membrana umedecida dentro de uma cápsula de porcelana na mufla a 550 °C $\pm$ 50 °C por 15 minutos.
- Deixar resfriar em dessecador
- Tarar, anotando o peso P_0
- Retirar uma alíquota de amostra
- Manter a amostra sob agitação;
- Retirar 50 mL de amostra com balão volumétrico;
- Acondicionar a membrana tarada num sistema de filtração – manifold (usar pinças para manusear a membrana);
- Passar a amostra pelo sistema de filtração e acionar o vácuo;
- Aguardar o término da filtração

- Lavar com água destilada as paredes do copo de filtração
- Retirar a membrana com uma pinça e acomodá-la na cápsula, levando-a até a estufa
- Deixar em estufa à 103-105°C até peso constante
- Retirar a cápsula da estufa e deixar resfriar em dessecador
- Pesar e anotar o peso P_1

5.1.3.2.6. Carbono Orgânico Total (COT)

5.1.3.2.7. Distribuição Granulométrica

5.1.4. Escolha de Opções

Nessa etapa, será realizada preliminarmente uma análise generalizada de todos os usos potenciais, e de acordo com o embasamento obtido até o momento serão escolhidas as opções mais promissoras.

Definidas as opções, será feita uma análise matricial das mesmas sob o ponto de vista técnico.

As informações técnicas obtidas anteriormente na etapa de levantamento de dados embasarão essa análise, que poderá ser complementada por meio de novas entrevistas com especialistas e consultas a bibliografias mais aprofundadas.

5.1.5. Escolha da Melhor Alternativa

Nessa etapa será escolhida a alternativa que apresentou o melhor desempenho na análise matricial.

6. Resultados Obtidos

De acordo com o proposto na metodologia de elaboração do atual plano diretor, na presente etapa são apresentados os resultados obtidos ao longo das tarefas.

6.1. Levantamento de Informações Técnicas

As informações técnicas foram obtidas por meio de contatos realizados com professores e pesquisadores especializados nas áreas correspondentes.

Visando otimizar tempo e obter informações confiáveis, foram selecionados os usos benéficos cujos estudos já se encontram em fase mais avançada. Portanto os três

usos benéficos pré-selecionados para se obter maiores informações foram: Uso em aterros sanitários, cerâmicas e concretos.

6.1.1. Uso em Aterros Sanitários

Luzia Galdeano: "A idéia que tenho seria utilizar esse poder de colmatção que o lodo de estação de tratamento de água tem e utilizá-lo como agregado, misturado a solo siltoso ou silte-argiloso, para funcionar como barreira hidráulica no capeamento de áreas de aterro, ou ainda como barreira hidráulica no fundo de áreas, desde que testes de compactação feitos em unidade piloto, possam comprovar esse potencial e evitar a solubilização dos compostos ferrosos. Sugeri fazer esses testes aqui em Caieiras sobre uma fase que se encontra sem operação por um tempo razoável, boa oportunidade para esses testes."

Fernando Marinho: "Em minha opinião grande parte dos resíduos particulados, não contaminados, pode ser utilizada como material geotécnico. Esta utilização tanto pode se acontecer pelo uso direto do resíduo puro, como é o caso de alguns resíduos de papel, como por meio da mistura do resíduo com um solo. Esta mistura tem como objetivo a adequação do material ao uso pretendido. No caso específico do resíduo de ETA a mistura me parece necessária na maioria dos casos. Saliento, no entanto, que na literatura nacional e mesmo internacional os dados geotécnicos sobre este material são pouco e se faz necessário estudos específicos sobre este tema.

Para usar o resíduo de ETA em cobertura são necessários estudos específicos que abordem a capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica, resistência ao cisalhamento e deformabilidade.

Lembre-se que minhas observações se aplicam mais precisamente para a cobertura final. A cobertura diária, em princípio, teria menos exigências."

Ricardo Guerra: "A disposição do Lodo de ETA em aterros envolve diversas questões que ainda necessitam de estudos, entre elas:

- Concentração de sólidos adequada para o transporte e incorporação ao solo do aterro, quais métodos apresentam maior eficiência para obter essa concentração.
- Alterações nas características estruturais do solo de cobertura devido à adição do lodo (que possui características reológicas peculiares), podendo causar prejuízos a movimentação de máquinas e compactação da massa de lixo.
- Possibilidade de alteração da qualidade do percolado do aterro (Solubilização de metais presentes na composição do Lodo de ETA)

Outros aspectos relacionam-se com questões econômicas, quanto aos custos de transporte, distância do aterro, necessidade de empréstimo de solo pelo aterro.

Desta forma, a tomada de decisões deve levar em conta esses aspectos, frente a outros usos benéficos como a incorporação em materiais para a construção civil, que também tem apresentado bons resultados. Assim creio que permanece a velha máxima: "Cada caso é um caso" devendo ser avaliada a melhor solução possível para cada ETA.

Outro fato relevante é a falta de uma regulamentação específica do órgão ambiental, definindo critérios para os projetos de disposição do Lodo de ETA."

De acordo com os pareceres dos especialistas nota-se que há potencial em usar o lodo como material de cobertura em aterros, mas conforme todos afirmaram, há ainda grande necessidade de serem realizados estudos e pesquisas relacionados a tal uso, para assim se ter uma idéia conclusiva para tal potencial uso benéfico.

De acordo com algumas informações levantadas pode-se estimar a capacidade de absorção do lodo por parte dos aterros. Na RMSP estima-se uma geração de aproximadamente 18.000 t/ dia de resíduos, o que equivale a 540.000 t/ mês (apenas para a RMSP). A partir da quantidade de resíduos, estima-se que 20% da quantidade total de resíduos em massa seria a quantidade de material necessário para a cobertura diária. Ou seja, para a RMSP seria necessário aproximadamente 108.000 t de material para cobertura. De acordo com especialistas o lodo provinda das ETAs pode ser utilizado como material de cobertura na proporção (25% de lodo para 75% de solo), ou seja, seriam demandados 27.000 t por mês de lodo para tal uso.

Considerando a estimativa de geração de 1.000 t diárias de lodo no Estado, pode-se concluir que apenas os aterros da RMSP seriam capazes de absorver grande parte do lodo gerado no Estado.

6.1.2. Uso em Cerâmicas

Ph. D. Luis Tadeu Furlan, Gerente de eficiência energética da PETROBRAS descreve a experiência realizada na Replan: "Estamos removendo o lodo da ETA na Replan através de centrifugação, após o processo de floculação e decantação. O lodo centrifugado, que podemos chamá-lo também de argila centrifugada apresenta partículas finamente divididas as quais quando incorporadas à massa de argila dão ao tijolo ou à cerâmica uma resistência mecânica excelente. Além da resistência mecânica pudemos observar que o tijolo ficou mais hidrofóbico e com características vítreas.

Estamos finalizando o processo de amostragem nas chaminés da Olaria para quantificação do material particulado e, após o término desse ensaio esperamos obter a licença da Cetesb para o envio e incorporação dessa matéria prima tão importante para as indústrias de cerâmicas.

Hoje esse lodo de ETA, que prefiro chamá-lo de excelente matéria prima está sendo desperdiçado pois o mesmo está sendo disposto em aterro classe II.

Em algumas apresentações que fizemos fomos questionados se esse lodo não seria tóxico. Todas as análises mostraram a não toxicidade do mesmo. Para essas perguntas gosto de enfatizar: "estamos extraindo esse lodo da água do Rio Jaguari através de processos convencionais de floculação e sedimentação e a água tratada é a mesma que estamos bebendo".

Esse processo, obviamente após a realização da comprovação analítica é um processo ambientalmente sustentável pois estamos evitando "enterrar" uma

excelente matéria prima, estamos diminuindo as escavações das indústrias de cerâmica, estamos diminuindo a necessidade de incorporação de água no processo industrial da cerâmica, pois o lodo contém muita umidade. Finalizando, consideramos esse processo ambientalmente viável denominado GANHA-GANHA-GANHA, ganha o meio ambiente, ganha a sociedade, pois terá um tijolo ou cerâmica de melhor qualidade e ganham as indústrias (tanto geradora quanto recebedora desse lodo)."

Soraia Giordani, Eng. Civil Msc. Eng. Ambiental da SANEPAR: "Acredito que a disposição através de incorporação do mesmo na matriz cerâmica a melhor alternativa para a disposição final dos resíduos produzidos em ETAs uma vez que os metais são "indisponibilizados" ou definitivamente afastados do meio ambiente.

Dentro de uma visão sistêmica e macro, para aquele metal por ex.: o alumínio que retiramos da bauxita e transformamos através do ataque com ácido sulfúrico em sulfato de alumínio e o fizemos se tornar novamente hidróxido no tratamento de água o melhor destino, ou seja, aquele que indisponibiliza este metal "retirando" o mesmo do circuito da natureza é a incorporação deste na matriz cerâmica, pois, após a queima o tijolo não lixívia nem solubiliza o material retido. Cabe destacar por fim que a incorporação do mesmo na matriz cerâmica é uma alternativa que não deixa passivo ambiental para a empresa de saneamento, a disposição em aterro, por exemplo, não é uma solução e sim um paliativo onde a empresa continuará a ser responsável pelos resíduos ali contidos pelo resto da vida."

Segundo Antonio Carlos Gomes Pereira, assessor técnico do Sindicato da Indústria da Cerâmica para Construção do Estado de São Paulo, o lodo para ser aceito como matéria prima pela indústria de cerâmica necessita primeiramente ser padronizado, ser transformado num produto que tenha suas qualidades bem definidas de forma a garantir que não haja variação de suas características nos diferentes lotes de lodo adquirido e permitindo assim menor interferência no processo de produção. Do ponto de vista comercial, considera vantajoso a utilização do lodo, pois permite associar o produto final com a imagem de um produto ambientalmente correto. Além disso, ele considera que sua utilização permite uma exploração mais racional da jazida de argila uma vez que possibilita um menor consumo de argila de boa qualidade e conseqüentemente prolongando a vida útil do local de exploração.

6.1.3. Uso em Concreto

Cali Iaguan Achons : "Minha pesquisa foi iniciada em 2000 (após testes preliminares de porcentagem de lodo a ser incorporado no concreto, realizado por dois alunos em 1999 – Alexandre Buttler e Alexandre Freitas), chegamos à conclusão que a incorporação de lodo seco em estufa (valendo ressaltar que, a

secagem em estufa é um compilador em termos operacionais em grande escala) em porcentagem de até 5% no concreto e até 3% de lodo em argamassa de cimento, sempre substituindo o agregado miúdo (areia) atende os padrões de resistência e absorção da NBR.

Assim, os resultados preliminares, permitiram aferir que as adições de lodo com melhor desempenho localizava-se na faixa de adição entre 1% e 5% de lodo seco em relação ao agregado miúdo. Em relação aos valores obtidos com o concreto referência, utilizando agregados naturais (areia e brita 1), o concreto com adição de 3% do lodo (em relação à massa do agregado miúdo) apresentou uma redução insignificante dos valores aos 7 e 28 dias de cura. Por isso, em termos de resistência mecânica, a adição de 3% de lodo em relação ao agregado miúdo natural possibilita a obtenção de concretos com características mecânicas similares às do concreto usual.

Em termos de viabilidade: As porcentagens entre 3 e 5% de lodo seco incorporado, apresentaram uma boa faixa para a absorção de água e para a resistência à compressão, o que possibilitaria a utilização em várias aplicações de concretos, ainda que sem função estrutural. Porém, na pesquisa desenvolvida por Hoppen, C (2004) da UFPR (em seu mestrado) utilizou-se a incorporação de lodo úmido, o que na minha opinião pode ser muito mais viável, devido as características do lodo bruto e as tecnologias de desaguamento hoje existentes para 'tratamento'/redução de volume de lodo de ETA.

Em termos de Perspectivas futuras: Pelo pouco que pesquisei nesta área fiz minha pesquisa em 2001, que foi uma Iniciação Científica ainda na Graduação) acredito que ainda há necessidade de mais pesquisas, multidisciplinares, inclusive com parcerias com técnicos e especialistas em concreto e argamassa de cimento, não deixando de lado a parte operacional e viabilidade de aplicação em escala real, tanto nas ETAs, como nas fábricas (concreto usinado, por exemplo) ou na obras de engenharia. Inclusive, podendo verificar a possibilidade de substituição de outros materiais presentes no concreto pelo lodo de ETA. Pelo que tenho conhecimento, os estudos continuam avançando com o Doutorado do Francis (Souza, F. R. em desenvolvimento na EESC), mas agora não mais utilizando o lodo diretamente no concreto, mas na forma de um compósito com outro resíduo (a serragem de madeira) o qual resultou em patente. Todavia, os resultados iniciais da caracterização deste compósito ainda estão em fase de desenvolvimento e a previsão de finalizarem os resultados é entre fevereiro e abril de 2009."

O parecer revela que existe a possibilidade da utilização de lodo de ETA na produção de concreto. Entretanto o processo de secagem é um fator logístico importante. É necessário que o lodo sofra uma secagem antes de ser utilizado como substituinte do agregado miúdo.

Os indícios levam a crer que o concreto com a adição de lodo não poderia ser utilizado para fins estruturais.

6.2. Análise da Consistência dos Dados

Em um Plano Diretor uma das primeiras e mais importantes etapas é a obtenção de dados, pois somente com dados pode-se elaborar estratégias e alternativas compreendidas em um plano diretor.

Conforme será melhor detalhado a seguir, as análises mostraram que os dados atualmente utilizados para a determinação na geração dos lodos de ETA's não são totalmente consistentes, mas mesmo assim, o atual estudo se utilizou de tais valores, uma vez que não existem dados mais refinados.

Essa questão da quantificação dos lodos é um dos pontos a serem aprimorados, para assim se elaborar um plano diretor embasado em valores mais confiáveis.

6.2.1. Análise estatística dos dados de Turbidez e Sólidos em suspensão nos corpos d'água do Estado de São Paulo

Foi obtido juntamente à Cetesb uma base de dados referente ao monitoramento das bacias do Estado de São Paulo. Nelas estão contidos dados como sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, turbidez e cor verdadeira de 22 unidades de gerenciamento de recursos hídricos com informações coletadas desde o ano de 1989. Ao todo foi nos fornecido 20.738 dados de 599 pontos de monitoramento. Foi realizado o tratamento de dados de acordo com o método estatístico descrito e proposto previamente (seção 5.1.3.1) reduzindo a base de dados para um total de 161 pontos de monitoramento. A partir dessa base de dados foi realizada a correlação entre a turbidez e os sólidos totais suspensos de cada ponto, como pode-se ver na tabela abaixo:

Tabela 6.2.1.(1) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento

Ponto	Descrição	UGRHI	Correlação	Pontos Analisados
SAGU02100	MANTIQUEIRA	1	0,8711	39
JAGI02900	PARAIBA DO SUL	2	0,5319	63
JAGJ00200	PARAIBA DO SUL	2	0,4702	68
PARB02100	PARAIBA DO SUL	2	0,1434	131
PARB02200	PARAIBA DO SUL	2	0,6491	42
PARB02300	PARAIBA DO SUL	2	0,5952	124
PARB02310	PARAIBA DO SUL	2	0,5548	35
PARB02400	PARAIBA DO SUL	2	0,5050	133
PARB02490	PARAIBA DO SUL	2	0,6171	82
PARB02600	PARAIBA DO SUL	2	0,6224	129
PARB02700	PARAIBA DO SUL	2	0,8051	84
PARB02900	PARAIBA DO SUL	2	0,7533	131

PTEI02900	PARAIBA DO SUL	2	0,7564	45
SANT00100	PARAIBA DO SUL	2	-0,2581	38
CARO02800	LITORAL NORTE	3	0,3727	34
GRAN02400	LITORAL NORTE	3	-0,0642	37
SAFO00300	LITORAL NORTE	3	0,5617	37
PARD02010	PARDO	4	0,4962	40
PARD02100	PARDO	4	0,2193	64
PARD02500	PARDO	4	0,6863	110
PARD02600	PARDO	4	0,4501	103
ATIB02010	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,5583	72
ATIB02065	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,7083	108
ATIB02605	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,7823	108
CMDC02900	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,6942	71
CPIV02130	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8113	74
CPIV02200	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8376	107
CPIV02900	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,6913	71
CRUM02200	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8667	38
CRUM02500	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,9085	105
IRIS02900	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,4276	52
JAGR02100	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,7232	41
JAGR02500	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,6898	40
JAGR02800	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8003	105
JUNA02020	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8584	111
JUNA04270	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,6651	105
JUNA04900	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,4428	87
PCAB02100	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8412	91
PCAB02135	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,7913	105
PCAB02160	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,7398	59
PCAB02192	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,9125	107
PCAB02220	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8582	104
PCAB02800	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,8998	101
PCBP02500	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI	5	0,3312	81
BILL02100	ALTO TIÊTE	6	0,6203	46
BILL02500	ALTO TIÊTE	6	0,3251	109

Tabela 6.2.1.(2) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento

Ponto	Descrição	UGRHI	Correlação	Pontos Analisados
BILL02900	ALTO TIÊTE	6	0,0286	107
BITQ00100	ALTO TIÊTE	6	0,4464	46
BMIR02800	ALTO TIÊTE	6	0,3615	58
BQGU03200	ALTO TIÊTE	6	0,3516	104
COGR00900	ALTO TIÊTE	6	-0,1439	60
COTI03800	ALTO TIÊTE	6	0,4295	102
COTI03900	ALTO TIÊTE	6	0,6102	104
CRIS03400	ALTO TIÊTE	6	0,3216	48
DUVA04900	ALTO TIÊTE	6	0,4986	37
EMGU00800	ALTO TIÊTE	6	0,3894	110
EMMI02900	ALTO TIÊTE	6	0,3516	101
GADE02900	ALTO TIÊTE	6	0,2799	107

GUAR00100	ALTO TIÊTE	6	0,2196	44
GUAR00900	ALTO TIÊTE	6	0,0970	113
JNDI00500	ALTO TIÊTE	6	0,3786	43
JQUU00900	ALTO TIÊTE	6	0,1859	61
JQRI03800	ALTO TIÊTE	6	0,4277	109
NINO04900	ALTO TIÊTE	6	-0,0439	36
PEBA00100	ALTO TIÊTE	6	0,5011	37
PINH04100	ALTO TIÊTE	6	0,6043	115
PINH04900	ALTO TIÊTE	6	0,3182	52
RGDE02200	ALTO TIÊTE	6	0,3633	109
RGDE02900	ALTO TIÊTE	6	-0,0041	112
TAIA02800	ALTO TIÊTE	6	0,5573	60
TAMT04500	ALTO TIÊTE	6	0,1513	106
TAMT04900	ALTO TIÊTE	6	0,1793	108
TGDE00900	ALTO TIÊTE	6	-0,0248	60
TIES04900	ALTO TIÊTE	6	0,4174	109
TIET02050	ALTO TIÊTE	6	0,1808	60
TIET02090	ALTO TIÊTE	6	0,3215	52
TIET03120	ALTO TIÊTE	6	0,3274	37
TIET04150	ALTO TIÊTE	6	0,3932	110
TIET04170	ALTO TIÊTE	6	0,5600	35
TIET04180	ALTO TIÊTE	6	0,4363	48
TIET04200	ALTO TIÊTE	6	0,2235	115
TIPI04900	ALTO TIÊTE	6	0,3466	106
CAMO00900	BAIXADA SANTISTA	7	0,3198	54
CFUG02900	BAIXADA SANTISTA	7	0,0195	123
CUBA02700	BAIXADA SANTISTA	7	0,0851	113
CUBA03900	BAIXADA SANTISTA	7	-0,0503	111
MOJI02800	BAIXADA SANTISTA	7	0,0242	119
PIAC02700	BAIXADA SANTISTA	7	0,1897	112
BAGR04500	SAPUCAI/GRANDE	8	0,8365	70
BAGR04600	SAPUCAI/GRANDE	8	0,3810	36
GRDE02300	SAPUCAI/GRANDE	8	-0,1511	37
SAPU02300	SAPUCAI/GRANDE	8	0,7094	38

Tabela 6.2.1.(3) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento

Ponto	Descrição	UGRHI	Correlação	Pontos Analisados
SAPU02400	SAPUCAI/GRANDE	8	0,8212	67
SAPU02800	SAPUCAI/GRANDE	8	0,6208	39
MOGU02100	MOGI GUAÇU	9	0,6350	38
MOGU02200	MOGI GUAÇU	9	0,5678	106
MOGU02300	MOGI GUAÇU	9	0,7098	104
MOGU02500	MOGI GUAÇU	9	0,8759	66
MOGU02900	MOGI GUAÇU	9	0,5354	109
IPAN02500	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,5918	32
SOIT02100	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,4152	49
SOIT02900	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,1655	47
SORO02100	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,6764	104

SORO02200	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,7669	108
SORO02700	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,7285	40
SORO02900	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,8254	112
TIBB02100	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,1753	43
TIBB02700	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,3718	70
TIBB02900	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	-0,1693	35
TIBT02100	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,4052	43
TIBT02500	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,2616	82
TIET02250	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,4645	84
TIET02300	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,6393	46
TIET02350	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,5852	110
TIET02400	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,7042	125
TIET02450	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,8068	81
TIRG02900	SOROCABA/MEDIO TIETE	10	0,1607	111
JAPI02100	RIBEIRA DE IGUAPE/LITORAL SUL	11	0,2620	38
JUQI00800	RIBEIRA DE IGUAPE/LITORAL SUL	11	0,2676	62
JUQI02900	RIBEIRA DE IGUAPE/LITORAL SUL	11	0,0779	39
RIBE02500	RIBEIRA DE IGUAPE/LITORAL SUL	11	0,7971	107
RIIG02500	RIBEIRA DE IGUAPE/LITORAL SUL	11	0,6027	112
RIIG02900	RIBEIRA DE IGUAPE/LITORAL SUL	11	0,2679	40
PARD02700	BAIXO PARDO/GRANDE	12	0,5221	82
PARD02800	BAIXO PARDO/GRANDE	12	0,3988	103
JCGU03400	TIETE/JACARÉ	13	0,3891	39
JCGU03900	TIETE/JACARÉ	13	0,2799	54
JPEP03500	TIETE/JACARÉ	13	0,2565	54
TIET02500	TIETE/JACARÉ	13	0,2249	99
TIET02550	TIETE/JACARÉ	13	0,4033	62
ITAR02500	ALTO PARANAPANEMA	14	0,4635	103
JURU02500	ALTO PARANAPANEMA	14	0,3175	36
PARP02100	ALTO PARANAPANEMA	14	0,6422	105
TAQR02400	ALTO PARANAPANEMA	14	0,7356	102
GRDE02500	TURVO/GRANDE	15	0,0473	31
ONCA02500	TURVO/GRANDE	15	0,3530	108
PRET02300	TURVO/GRANDE	15	0,1025	36
PRET02800	TURVO/GRANDE	15	0,2862	102

Tabela 6.2.1.(4) - Correlação entre turbidez e SST por ponto de monitoramento

Ponto	Descrição	UGRHI	Correlação	Pontos Analisados
RPRE02200	TURVO/GRANDE	15	0,3536	102
SDOM04500	TURVO/GRANDE	15	0,4087	105
TURV02500	TURVO/GRANDE	15	0,3433	103
TURV02800	TURVO/GRANDE	15	0,3258	104
BATA02800	TIETE/BATALHA	16	0,6662	40
TIET02600	TIETE/BATALHA	16	0,2326	101
TIPR02400	TIETE/BATALHA	16	0,3316	62
PADO02600	MEDIO PARANAPANEMA	17	0,3545	107
PARP02500	MEDIO PARANAPANEMA	17	0,3757	56
SJDO02500	SAO JOSE DOS DOURADOS	18	0,4590	61
PARN02100	BAIXO TIETE	19	-0,1276	59

TIET02700	BAIXO TIÊTE	19	0,1497	108
TITR02100	BAIXO TIÊTE	19	0,3025	93
TITR02800	BAIXO TIÊTE	19	0,2052	99
AGUA02100	AGUAPEI	20	0,3951	103
AGUA02800	AGUAPEI	20	0,5031	105
TBIR02700	AGUAPEI	20	0,5438	65
PEIX02100	PEIXE	21	0,7079	108
PEIX02800	PEIXE	21	0,4485	98
PARN02900	PONTAL DO PARANAPANEMA	22	-0,0921	54
PARP02750	PONTAL DO PARANAPANEMA	22	0,2306	54
PARP02900	PONTAL DO PARANAPANEMA	22	-0,0482	52
STAN02700	PONTAL DO PARANAPANEMA	22	0,5441	105

A correlação média do total de pontos foi em torno de 0,44 com desvio padrão de 0,27. De um total de 161 pontos, apenas 17 pontos tiveram correlação superior a 0,8, ou seja, em torno de 11%. Assim pode-se concluir que não é possível inferir os sólidos suspensos a partir da turbidez.

As planilhas com as análise de correlação podem ser consultadas no **Anexo IV**.

6.2.2. Análise das tipologias de água (Cor, Turbidez, Sólidos em Suspensão, Sólidos Dissolvidos e Sólidos Totais, COT e Distribuição Granulométrica)

A partir das análises de distribuição granulométrica (vide Gráficos 6.2.2.1 a 6.2.2.6), pode-se concluir que grande parte das partículas são menores do que 1,2 μm , ou seja, podemos concluir que grande parte dos sólidos dissolvidos presentes na água estão em fase coloidal.

Tal fato justifica a falta de correlação existente entre os parâmetros turbidez e sólidos em suspensão, pois uma vez que a Turbidez está relacionada com a quantidade de material coloidal e sólidos em suspensão, como nas águas analisadas grande parte é coloidal, podemos concluir que não se pode correlacionar sólidos em suspensão e turbidez.

Outra conclusão que se pode chegar é que devido à grande quantidade de partículas menores do que 1,2 μm a concentração de sólidos dissolvidos deve ser maior do que a concentração de sólidos em suspensão, que é o que pode ser visto nas determinações laboratoriais (**Anexo V**).

Gráfico 6.2.2.1

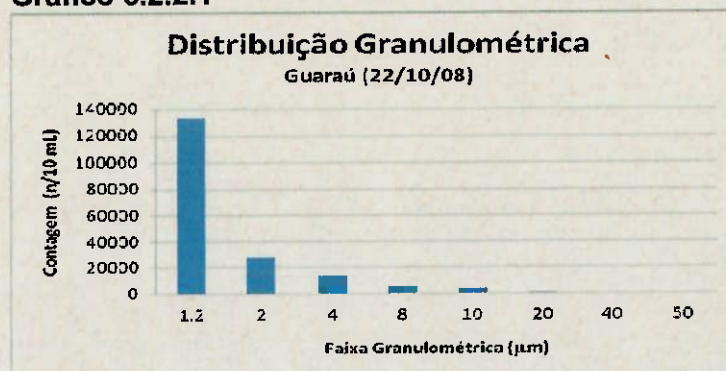


Gráfico 6.2.2.2

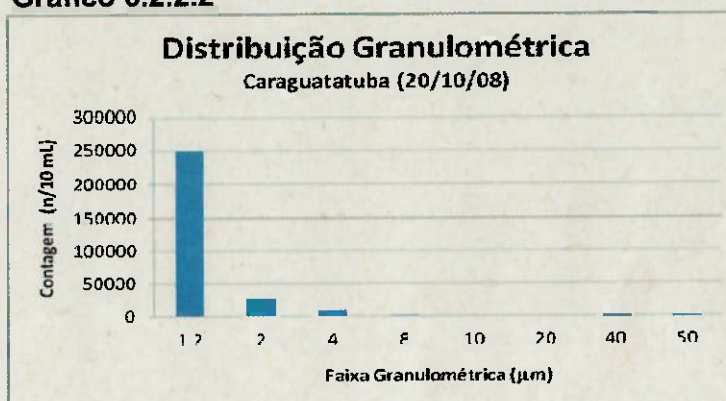


Gráfico 6.2.2.3

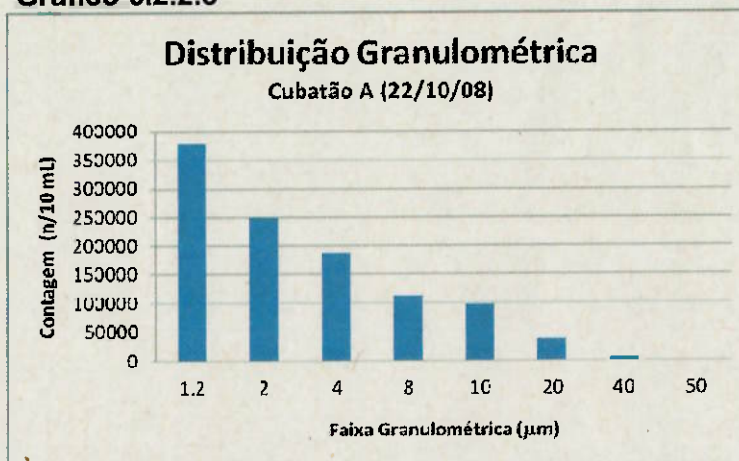


Gráfico 6.2.2.4

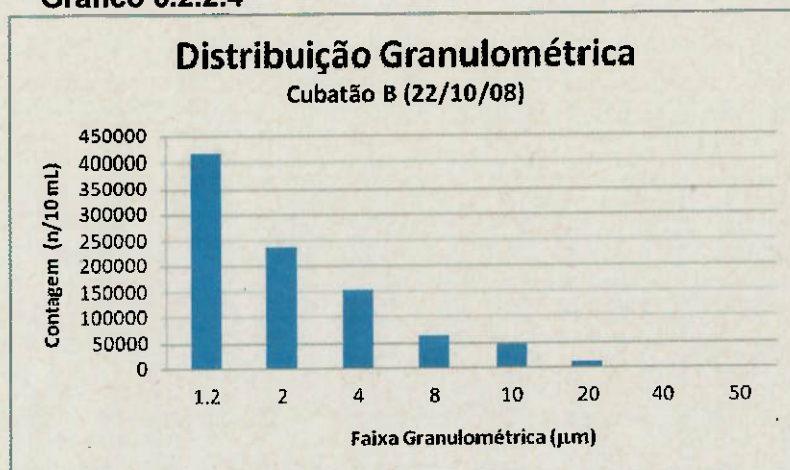


Gráfico 6.2.2.5

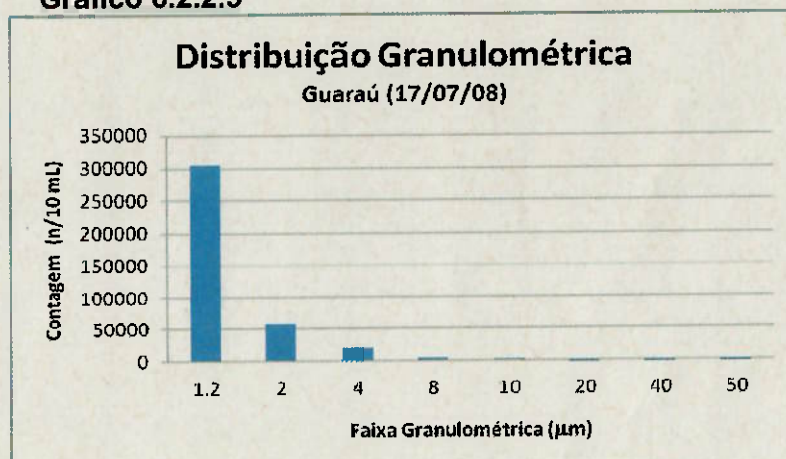
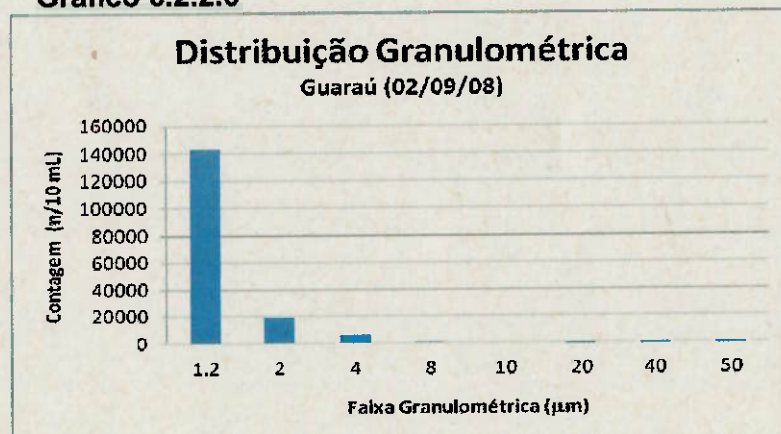


Gráfico 6.2.2.6



Todas as análises laboratoriais podem ser consultadas no **Anexo IV**.

Segundo Ankorn et al (2003), determinação de turbidez está sujeita à diversas interferências, assim como:

- Interferências de sólidos;
- Qualidade da água coletada;
- Tamanho, forma e cor dos sedimentos presentes nas amostras coletadas;
- COR;
- Divergências relativas aos diferentes métodos de medição;
- Presença de Material Orgânico na amostra e
- No caso de amostras coletadas em rios
- Escolha de seções pouco representativas e
- Coleta de amostras em seções que não possuem mistura ideal.

Pfannkuche (2003) cita em seu estudo menciona que a turbidez pode ser utilizada como parâmetro para determinar os sólidos em suspensão com equipamentos calibrados especificamente para os locais onde se deseja medir a turbidez e então estimar os sólidos em suspensão com essa medição. Menciona também que diversos estudos (Vant & Davies-Colley, 1984; Davies-Colley & Close, 1990; Bley, 1994; Gippel, 1995, Wass & Leeks, 1999) indicam uma boa relação entre turbidez e sólidos em suspensão e turbidez quando a água é de boa qualidade ("freshwater")

Segundo Ankorn et al (2003), há diversas limitações em relação a turbidez. Entretanto, a determinação contínua (em tempo real) por sensores "in situ" permite que a turbidez seja utilizada como parâmetro adequado para estimar a concentrações de constituintes tais como sólidos em suspensão. Em estudo realizado em Gwinnett County (Georgia, EUA), a turbidez se mostrou como parâmetro satisfatório para determinar os sólidos em suspensão (alta correlação).

Atualmente a produção de lodo nas estações de tratamento de água é estimada a partir de fórmulas que correlacionam parâmetros como turbidez, cor, vazão de água e dosagem de coagulantes.

Apesar do questionamento da turbidez como parâmetro para estimação da quantidade de sólidos em suspensão, os resultados laboratoriais não foram suficientes para invalidar as fórmulas utilizadas atualmente para a quantificação de lodo produzido em estações de tratamento de água. Seria necessário uma quantidade maior de amostras para afirmar com graus de incerteza aceitável.

7. Escolha de Alternativas

Primeiramente foram elaborados alguns atributos e definidas suas classes para que fosse possível uma avaliação qualitativa. Esse atributos foram definidos de acordo com o aspecto técnico, considerando principalmente os formulários utilizados em entrevistas feitas com especialistas. Os seguintes atributos foram definidos:

- Existência de estudos acadêmicos;
- Avaliação de especialistas;
- Desempenho do produto final;
- Interesse Industrial / Dependência de Incentivos;
- Possibilidade de Absorver a produção

Em seguida foi feita uma avaliação segundo o critério definido. Nessa avaliação foram contempladas as entrevistas realizadas com especialistas.

A Tabela 7.1.(1) resume os critérios utilizados para a avaliação das opções. A tabela 7.1.(2) apresenta a Matriz de Decisão com um resumo da avaliação feita do ponto de vista técnico.

Tabela 7.1.(1) – Critério Utilizado para Avaliação de Opções

	Atributos				
	<i>Existência de estudos acadêmicos</i>	<i>Avaliação de especialistas</i>	<i>Desempenho do produto final</i>	<i>Interesse Industrial / Dependência de Incentivos</i>	<i>Possibilidade de Absorver a produção (Quantidade de lodo utilizada em re à produção)</i>
CLASSES	Satisfatório	Muito Favorável	Ruim	Dependência de Incentivos	Total
	Muito Pouco (Emergente*)	Favorável	Indiferente	Sem Interesse	Parcial
		Pouco Favorável			Nula

Tabela 7.1.(2) – Matriz de Decisão

	Existência de estudos acadêmicos	Avaliação de especialistas	Desempenho do produto final	Interesse Industrial / Dependência de incentivos	Possibilidade de Absorver a produção (Quantidade de lodo utilizada em relação à produção)
Siderurgia	Muito Pouco (Emergente*)	Pouco Favorável	Ruim	Sem Interesse	-
Cerâmica Vermelha	Satisfatório	Muito Favorável	Indiferente	Dependência de Incentivos	Total
Concreto	Satisfatório	Favorável	Indiferente (para concreto sem fins estruturais)	Dependência de Incentivos	Nula
Aterro	Muito Pouco (Emergente*)	Favorável	Indiferente	Dependência de Incentivos	Total
Mineração	Muito Pouco (Emergente*)	-	Ruim	Sem Interesse	Total
Reflorestamento	Muito Pouco (Emergente*)	-	-	-	-

Após a análise das alternativas com auxílio da Matriz de decisão, detectou-se que a melhor alternativa sob o aspecto técnico, é a utilização do lodo de ETA no setor da indústria cerâmica vermelha, como substituto de matéria prima, no caso a argila.

8. Estudo Logístico

8.1. Produção de Lodo

As estimativas realizadas pela utilização da fórmula do WCR (Water Research Center – 1979) chegam em um resultado de 180 toneladas de lodo produzido por dia no estado de São Paulo.

Foi considerado como premissa desse plano, uma geração de 1000 toneladas de lodo por dia nas estações de tratamento de água no estado de São Paulo, por

razões previamente explicada no presente plano. Isso totaliza 365.000 toneladas de lodo em um ano.

8.2. Demanda por Lodo

Segundo dados do "Anuário de Produção Mineral 2006" DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), o estado de São Paulo é responsável pela produção de aproximadamente 5 milhões de toneladas (divididas em Argilas Comuns, Plásticas, Refratárias e Descorantes). As regiões Sul e Sudeste são responsáveis por aproximadamente 25% (4,3 toneladas de argila comum) da produção nacional.

De acordo com a mesma fonte 8,43% da argila produzida no estado de São Paulo é utilizada no setor de cerâmica vermelha. Esses números resultam em um consumo estimado de aproximadamente 421.500 toneladas de argila por ano (no caso, os dados são referentes ao ano de 2005 – ano base).

Segundo dados da ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica), o setor de produção de cerâmica vermelha utiliza 10,3 milhões de toneladas de argila por mês no Brasil.

Tabela 8.2.(1) – Dados OFICIAIS do setor de Cerâmica Vermelha no Brasil

	Nº Empresas Aproximado	% Aproximado por Área	Prod./Mês (Nº de Peças)	Consumo-Ton/Mês (Matéria Prima: Argila)
Blocos/Tijolos	3600	63%	4.000.000.000	7.800.000
Telhas	1900	36%	1.300.000.000	2.500.000
Tubos	12	0,1%	325,5Km*	-

**Produção apontada pela Associação Latino-Americana de Fabricantes de Tubos Cerâmicos (Acertubos), considerando o número de 10 empresas, responsáveis pela fabricação de 3.906km/ano.*

Considerando uma participação de 25% do estado de São Paulo, estima-se que em São Paulo o consumo de argila seja 2,56 milhões de toneladas por mês, totalizando aproximadamente 30,72 toneladas de argila no ano.

Sendo assim, para uma substituição de 10% da argila utilizada na produção de cerâmica vermelha, seriam necessárias 307.200 toneladas de lodo por ano.

8.3. Considerações Gerais

A cerâmica vermelha é um produto de baixo valor agregado. Sendo assim, as indústrias de produção de cerâmica vermelha (telhas e blocos) se localizam próximas aos centros fornecedores de matérias primas que, no caso, são as jazidas de argila. Se verificarmos dados do DNPM veremos que as maiores

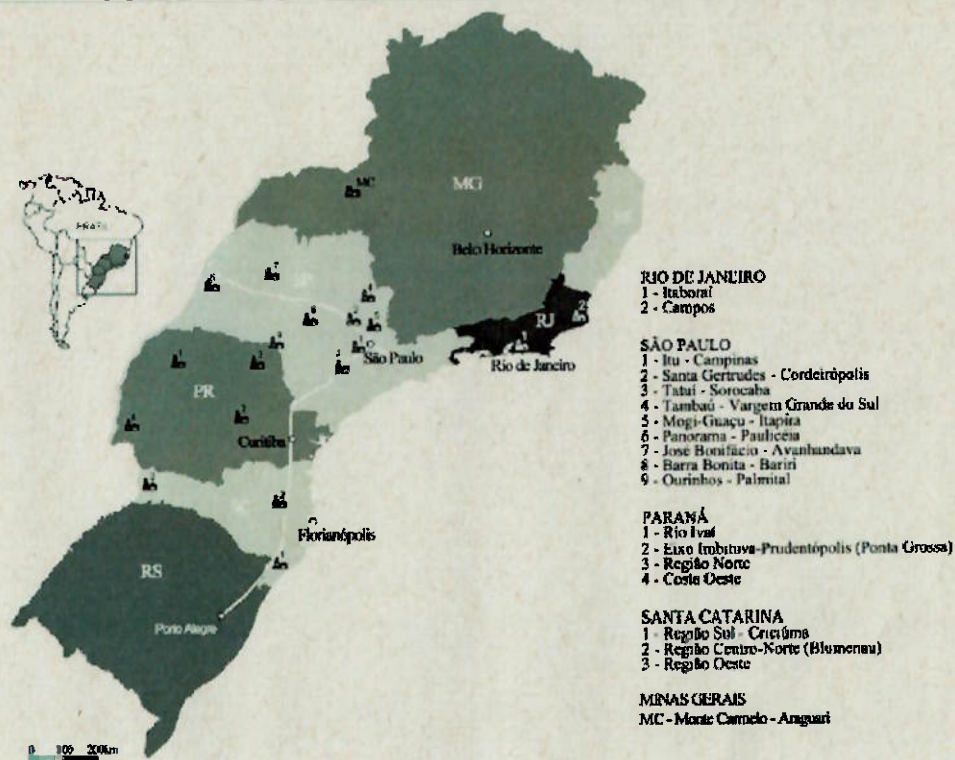
jazidas de argila se localizam nos municípios de Rio Claro, Itu, Tatuí, Tambaú, Cordeirópolis, Porangaba e Registro (segundo tabela 8.3.(1)).

Tabela 8.3.(1) – Maiores Jazidas de Argila Comum (lavrável) no estado de São Paulo

Jazidas	Reserva Lavrável (ton)
Jundiaí	28 882 654
Cordeirópolis	47 764 726
Porangaba	53 280 203
Itu	53 821 749
Tatuí	85 972 175
Tambaú	48 363 161
Registro	119 197 360
Rio Claro	163 823 604
TOTAL	601 105 632
TOTAL São Paulo	1 382 713 494

Se verificarmos dados da ANICER (2002), poderemos verificar que os maiores pólos de produção de cerâmica vermelha se localizam próximos à essas cidades.

Figura 8.3.(2) – Pólos Cerâmicos na Região Sudeste e Sul (Brasil)



Considerando, que o lodo de ETA, sendo utilizado benéficamente na produção de cerâmica vermelha, vem a ser um substituto de matéria prima (argila), é interessante observar, que uma das opções seria enviar o lodo às jazidas de argila. Entretanto existe uma quantidade extensa de jazidas. Outra opção seria acumular o lodo em regiões próximas aos pólos produtores de cerâmica.

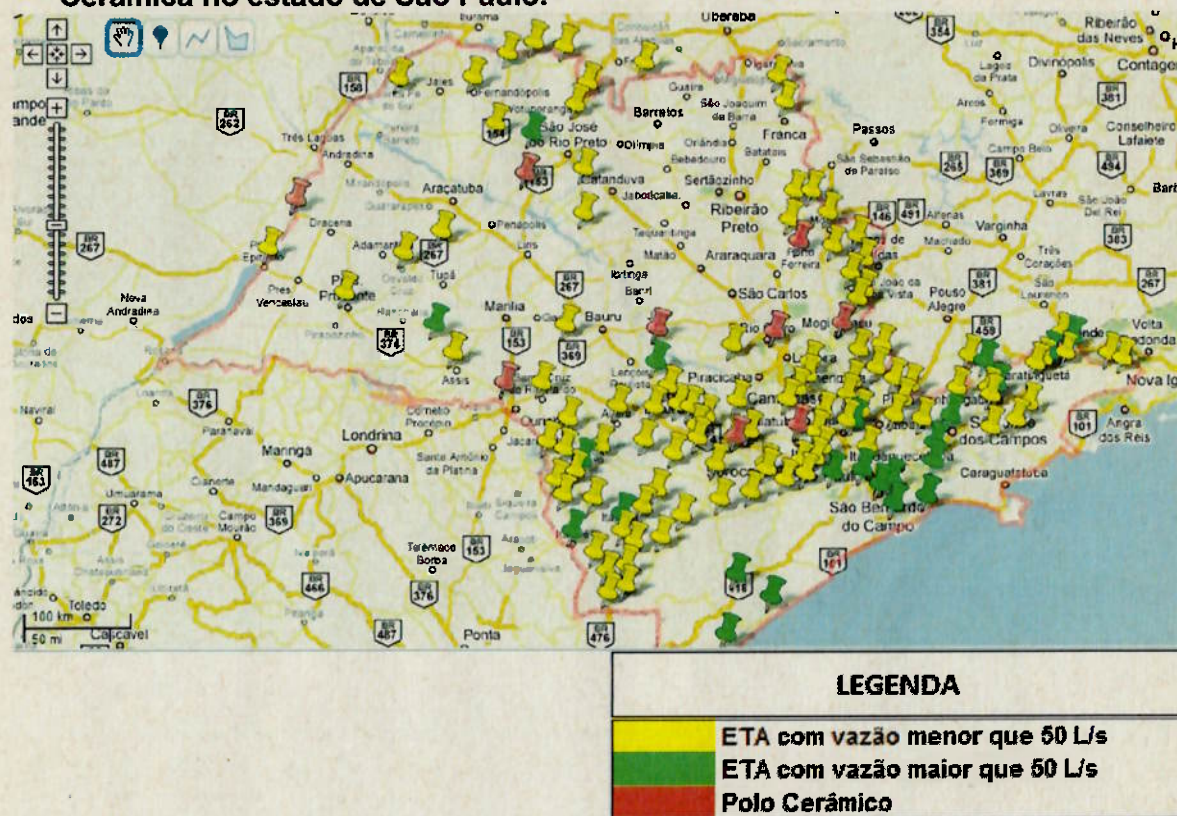
Do ponto de vista dos geradores de lodo, é necessário otimizar o transporte. Uma das formas de se fazer isso, é projetar unidades de transbordo, entre os locais de geração e de destinação final.

Considerando que o lodo é um material de alta umidade, é necessário que ele passe por algum tipo de tratamento de secagem ou mesmo de espessamento. É preciso atentar ao fato de que quanto maior a umidade, maior será a quantidade de energia consumida no processo de queima do bloco. Sendo assim, a indústria de cerâmica vermelha necessita de um teor mínimo de sólidos para utilização do lodo na produção cerâmica.

Para melhor análise do lodo gerado nas estações de tratamento de água e o seu aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha, é necessário avaliar a

disposição de ETAs e Pólos Cerâmicos no estado de São Paulo, como segue na tabela

Figura 8.3.(3) – Estações de Tratamento de Água e Pólos de Produção de Cerâmica no estado de São Paulo.



9. Solução Proposta

9.1. Tratamento do Lodo

No caso de ETA's cuja vazão seja inferior a 50 l/s, propõe-se a criação de centros de tratamento de lodo, que receberão o lodo de ETA's localizadas no seu entorno. Neste caso o tratamento mais viável de ser realizado seria por meio de leitos de secagem, uma vez que tal sistema é mais simples e acarreta em menores custos.

Já para as ETA's de vazão superior a 50 l/s, propõe-se a implantação de sistema de tratamento dentro da própria planta, por meio de filtros prensa e centrífugas.

Esses tratamentos objetivam a padronização do lodo como matéria prima (aumento do teor de sólidos), característica essencial para que o mesmo seja aceito pelos produtores de cerâmica vermelha.

9.2. Transbordo de Lodo para Cerâmica Vermelha

Para otimizar o transporte do lodo aos pólos de produção de cerâmica vermelha, e garantir suprimento constante à indústria, propõe-se a criação de centrais de armazenagem de lodo nas principais vias de acesso (estradas) aos pólos cerâmicos, sendo esses:

- Itu – Campinas
- Santa Gertrudes – Cordeirópolis
- Tatuí – Sorocaba
- Tambaú – Vargem Grande do Sul
- Mogi Guaçu – Itapira
- Panorama – Paulicéia
- José Bonifácio – Avanhandava
- Barra Bonita – Bariri
- Ourinhos - Palmital

9.3. Licenciamento do Órgão Ambiental

A utilização do lodo de ETA por produtores de cerâmica vermelha está condicionada também à aceitação do órgão ambiental (CETESB) e sua aprovação. A avaliação do órgão ambiental é um fator limitante para que o lodo seja aceito no setor de cerâmica vermelha.

9.4. Recomendações Adicionais

De acordo com a análise de consistência dos dados realizada no presente estudo, notou-se que a determinação da geração de lodo por meio da relação sólidos em suspensão e turbidez não é adequada para as tipologias de água estudadas. Dessa forma propõe-se realizar um estudo de pelo menos um ano, para assim se obter dados representativos que ajudarão na determinação da quantidade de lodo gerada, para diferentes tipologias de água. As análises também mostraram que a determinação de sólidos em suspensão por meio da medida de turbidez não é adequada, dessa forma, propõe-se a determinação de sólidos em suspensão por meio de análise laboratorial.

Propõe-se também a avaliação da Qualidade de Lodo produzido de acordo com a tipologia de água por meio de:

- Levantamento das Impurezas dos produtos químicos
- Levantamento da qualidade da água bruta

- Análise química e bacteriológica dos lodos das seis ETAs

Propõe-se a realização de estudos mais aprofundados sob a ótica:

- **Ambiental**

Os impactos ambientais e questões de saúde ocupacional deverão ser usados como base para a análise do ponto de vista ambiental.

- **Econômico**

Informações tais como previsão para o médio/longo prazo para cada uso potencial, produtividade e custos associados auxiliarão na análise econômica.

- **Logístico**

Na etapa de levantamento de dados deverão ser definidas a localização das áreas potenciais e com essas informações geográficas, será feito o georreferenciamento dos pontos de interesse, em softwares apropriados. A intenção é obter informações geográficas (como latitude, longitude e coordenadas UTM) que complementem o presente Plano Diretor como vias (estradas). Por fim, esses dados deverão ser georreferenciados juntamente com as vias (estradas), elaborando-se assim, um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para sustentar o estudo logístico e a escolha dos melhores usos benéficos.

Por fim, uma vez que diversos usos benéficos do lodo são emergentes e estão em fase de pesquisa, recomenda-se uma revisão do plano em um ano.

10. Referências Bibliográficas

- ANDRADE, Patricia de Souza "Avaliação do Impacto Ambiental da Utilização de Resíduos de Estações de Tratamento de Água em Indústrias de Cerâmica Vermelha", Campinas-SP, 2004.
- ANKORN P.D. 2003. **CLARIFYING TURBIDITY — THE POTENTIAL AND LIMITATIONS OF TURBIDITY AS A SURROGATE FOR WATER-QUALITY MONITORING**. *Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference*,
- Anuário Mineral Brasileiro 2006 . 2006. *Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)* disponível em <www.dnpm.gov.br>
- AWWA – American Water Works Association. **Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies**. 4a ed. McGraw-Hill, Inc. USA, 1990.
- BARBOSA, R. Ma. **Avaliação do Impacto de Lodos de Estações de Tratamento de Água à Biota Aquática Através de Estudos Ecotoxicológicos**. São Carlos, 2000. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BARROSO, M. M. ; CORDEIRO, J. S. Metais e Sólidos: Aspectos Legais dos Resíduos de Estações de Tratamento de Água. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa, Paraíba. Anais...* Rio de Janeiro: ABES,2001.
- BITAR, Omar Yazbek "Avaliação da Recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo", São Paulo-SP, 1997.
- BRASIL. NBR 10004/04 – Classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004a.
- BRASIL. NBR 10005/04 – Ensaio de Lixiviação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004b.
- BRASIL. NBR 10006/04 – Ensaio de Solubilização. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004c.
- BRASIL. NBR 11.174/NBR 1264/90 – Armazenamento de resíduos classe II – não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990a
- BRASIL. NBR 13.221/05 – Transporte terrestre de resíduos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005a.
- BRASIL. NBR.13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação – procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997a.
- BRASIL. NBR 13.895/97 – Construção de poços de monitoramento e amostragem – procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997b.

- BRASIL. Portaria no. 518/04. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Ministério da Saúde. 2004d.
- CHRISTENSEN, L.; DICK, R. I. Specific Resistance Measurements: Methods and Procedures. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 111, n. 3, p. 258-71, 1985.
- CORNWELL, D. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. **Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals**. Denver: American Water Works Association, 2000.
- CORNWELL, D. A.; KOPPERS, H. M. M. Slib, Schlamm, Sludge. **Cooperative Research Report**, Denver, U.S., American Water Works Association Research Foundation & KIWA, 1990.
- COSIN S, SOUZA S, VALENZUELA F.D .2004. **INFLUÊNCIA DE ALGUNS ADITIVOS ORGÂNICOS APÓS SECAGEM E QUEIMA DE MISTURAS DE TAGUÁ DE JARINU, SP/LODO DE ETA – PARTE I. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**
- GODBOLD, P.; LEWIN, K.; GRAHAM, A.; BARKER, P. **The Potential Reuse of Water Utility Products as Secondary Commercial Materials**. Disponível em: <http://www.wrcplc.co.uk/downloads/Water_Utility_Waste_Recycled.pdf>. Acesso em: 19/06/2003.
- GRANDIN, S. R. **Desidratação dos Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água**. São Paulo, 1992. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C. V.; SALES, A.; JOUKOSKI, A. Estudo da Incorporação do Lodo Centrifugado da Estação de Tratamento de Água Passaúna em Matriz de 1 8 3 Concreto com Dosagem de 3%. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- HORTH, H.; GENDEBIEN, A; AGG, R.; CARTWRIGHT, N. Treatment and Disposal of Waterworks Sludge in Selected European Countries. Inglaterra: Foundation for Water Research, 1994.
- PFANNKUCHE J, SCHMIDT A. 2003. **Determination of suspended particulate matter concentration from turbidity measurements: particle size effects and calibration procedures** . *Hydrological Process*. 17, 1951–1963 (2003)
- RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2001.
- SÃO PAULO. Decreto no. 32.955/91. Regulamenta a lei no. 6134, de 4 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 1991.

- SÃO PAULO. Decreto no. 8468/76. Aprova o regulamento da lei no. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, 1976.
- SÃO PAULO. CETESB. Decisão de Diretoria nº. 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf
- SÃO PAULO. Decreto no. 15.425/80. Acrescenta dispositivos e procede a alterações, que especifica, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. São Paulo. 1980.
- Slib, Schlamm, Sludge” – American Water Works Association Research Foundation KIWA Ltd. USA.1990
- SOUZA FILHO, A. G. de. **Caracterização e Clarificação por Sedimentação da Água de Lavagem de Filtros Rápidos de uma Estação de Tratamento de Água que Utiliza Cloreto Férrico como Coagulante Primário.** São Carlos, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Council Directive of 12 December 1991 on Hazardous Waste (91/689/EEC).** Official Journal L 377, 31/12/1991 P. 0020 – 0027, Brussels, 1991.
- THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Council Directive of 26 April 1999 on the Landfill of Waste (1999/31/EC).** Official Journal of the European Communities L 182, 16/07/1999 P. 001 – 0019, Luxembourg, 1999.
- YUZHU, W. **Condicionamento de Lodo de Estações de Tratamento de Água: Estudo de Caso.** São Paulo, 1996. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

11. ANEXO I – DOSSIÊ DO RESÍDUO

12. ANEXO II – CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DO RESÍDUO

13. ANEXO III – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA

14. ANEXO IV – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

15. ANEXO V – ANÁLISES LABORATORIAIS