

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA
DOS RESÍDUOS DA ETA DE ITABIRITO - MG**

Autor: Frederico Luiz de Matos Ribeiro

Orientador: Prof. Jorge Adílio Penna

**OURO PRETO
2007**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental
ICEB - Campus - Morro do Cruzeiro
Ouro Preto - MG - CEP 35.400-000
Fone: (031)3559-1725
E-mail: prosgua@iceb.ufop.br

***“Quantificação e Caracterização Química dos Resíduos da ETA
de Itabirito-MG”.***

Autor: Frederico Luiz de Matos Ribeiro

Dissertação defendida e aprovada, em 13 de fevereiro de 2007, pela banca examinadora
constituída pelos professores:

Professor Dr. Jorge Adílio Penna - Orientador
DECIV/Universidade Federal de Ouro Preto

Professor Dr. Antônio Teixeira de Matos
Depto. Eng. Agrícola e Ambiental / Univ. Federal de Viçosa

Professor Dr. Sérgio Francisco de Aquino
DEQUI/Universidade Federal de Ouro Preto

Dedicatória

Dedico este trabalho àqueles que doaram a sua vida pela minha formação, sempre me dando o apoio de que precisei e acreditando nos meus sonhos.

MEUS PAIS

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jorge Adílio Penna pela orientação.

A amiga Dóris pelo apoio e incentivo.

Ao SAAE - Itabirito e aos funcionários Rogério Barbosa, Sanders, Laércio e Carlos pelo apoio na execução dos trabalhos.

Ao amigo Rogério Eduardo pela atenção dispensada.

Aos amigos Adarlene, Bianco e Felipe pelo apoio.

Ao amigo Jorge Lena, pelo incentivo.

A minha família, em especial, minha irmã Luíza e meu sobrinho Henrique, pelo carinho e incentivo.

A Daniela, pelo carinho, compreensão e força em todas as jornadas deste trabalho.

RESUMO

A disposição de resíduos de Estações de Tratamento de Água (ETA) tem recebido maior atenção no Brasil nos últimos anos. Dispor estes resíduos, denominados lodos de ETA, de maneira ambientalmente correta configura-se em mais um desafio a ser enfrentado pelas prestadoras de serviços de saneamento. Há muito tempo, o destino destes lodos vem sendo os cursos d'água próximos às estações. No entanto, esta prática vem sendo questionada por órgãos ambientais, os quais estão restringindo e, até mesmo, proibindo esta forma de disposição final. O presente trabalho teve por objetivo apresentar as alternativas existentes para disposição final dos resíduos das ETAs. Procedeu-se também, uma análise quantitativa e qualitativa da geração dos resíduos da Estação de Tratamento de Água da cidade de Itabirito - Minas Gerais. Os dados levantados servirão para futuros trabalhos que visem a adequação dos resíduos gerados pela estação, assim como o estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de tratamento.

ABSTRACT

The residues disposal in Water Treatment Stations (WTS) has received greater attention in Brazil during the last few years. Disposing these residues, called WTS sludges, in an environmentally correct way is viewed as a challenge faced for the water utility companies. It has been a long time, the destination of these sludges used to be the courses of water close to the stations. However, this practice has been called into question by National Environmental Institutes, which are restricting and, even though, forbidding this kind of final disposal. This study had the objective of showing the existing alternatives for final disposal of residues from WTS. It was also analyzed quantitatively and qualitatively the residues produced in the Water Treatment Station of Itabirito city, Minas Gerais, Brazil. These data will be useful for future works aiming to adequately treat the stations produced residues and the feasibility study of treatment techniques application too.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de abreviaturas e siglas	
Lista de símbolos	
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 Importância do estudo da água	4
3.2 Operações e Processos de tratamento de água	8
3.2.1 Coagulação	9
3.2.1.1 Principais tipos de coagulantes e fontes de origem	11
3.2.1.2 Características e comportamento químico dos coagulantes de sais metálicos	12
3.2.2 Floculação	20
3.2.3 Sedimentação e flotação	21
3.2.4 Filtração	22
3.2.5 Desinfecção	23
3.3 Tratamento de resíduos de ETAs	24
3.3.1 Relação entre qualidade da água e tratabilidade	24
3.3.2 Origem dos despejos líquidos de uma ETA	24
3.4 Geração e manejo do lodo em uma ETA	27
3.4.1 Produção de lodos	29
3.4.2 Características dos rejeitos ou resíduos de ETA	33
4 Tratamento dos rejeitos de ETA	36
4.1 Aspectos ambientais referentes à disposição dos resíduos das ETAs	36
4.2 Aspectos gerais do tratamento dos resíduos das ETAs	37
4.3 Tipos de tratamento de resíduos de lodo de ETAs	41

4.3.1 Adensamento do Lodo	41
4.3.2 Desidratação do Lodo	41
4.3.3 Incineração dos lodos	42
4.4 Tratamento e utilização da água de sobrenadante	42
4.4.1 Recuperação e reutilização do coagulante presente no lodo do decantador	43
4.4.2 Recirculação da água de lavagem de filtro	44
5 Formas de redução de lodos gerados em ETAs	47
5.1 Otimização das dosagens dos coagulantes	47
5.2 Utilização de <i>by-pass</i> para filtração direta	48
6 Outras alternativas de tratamento e disposição de lodos e reuso da fase líquida de despejos de ETAs	48
6.1 Lançamento direto em águas superficiais	48
6.2 Lançamentos em lagoas	49
6.3 Disposição no solo	50
6.4 Lançamentos na rede de esgotos	50
6.5 Disposição em leito de secagem	51
6.6 Disposição em aterros sanitários	52
6.7 Disposição em solos agrícolas	53
6.8 Utilização de manta geotêxtil	54
7 MATERIAIS E MÉTODOS	58
7.1 Generalidades	58
7.2 Introdução	59
7.3 Dados operacionais e de qualidade de água da ETA de Itabirito	62
7.4 Obtenção e caracterização do lodo do decantador	62
7.5 Ensaio para a classificação de resíduos sólidos	66
7.6 Classificação dos resíduos conforme sua periculosidade, segundo a Norma NBR 10004/2004	67
7.7 Quantificação do lodo gerado nos decantadores da ETA	69
7.8 Análise das características estéticas do córrego da Carioca durante a	69

lavagem de um dos decantadores da ETA-Itabirito	
8 Estudo da variação do teor de sólidos totais ao longo da lavagem e em função da localização no decantador	69
9 Caracterização do sulfato de alumínio utilizado pela ETA-Itabirito	70
10 Obtenção e caracterização da água de lavagem dos filtros da ETA	70
11 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
11.1 Dados operacionais e de qualidade da água tratada da ETA-Itabirito	72
11.2 Características da água bruta e tratada da ETA-Itabirito	72
11.3 Dados operacionais de lavagem dos filtros	77
11.4 Caracterização dos resíduos gerados no decantador da ETA	78
11.5 Resultados do estudo da variação do teor de sólidos totais em função da localização no decantador	79
11.6 Quantificação do lodo	84
12 Análise visual do Córrego da Carioca durante a lavagem de um dos decantadores da ETA-Itabirito	93
13 Resultados dos ensaios de classificação dos resíduos gerados nos decantadores, segundo as normas da ABNT	97
14 Caracterização do sulfato de alumínio	98
15 Caracterização da água de lavagem dos filtros	99
16 Comparação entre os valores de massa de lodo determinados pelas fórmulas empíricas e o valor medido	103
17 Relação entre a expansão da ETA-Itabirito e tratabilidade dos resíduos gerados	105
18 CONCLUSÕES	106
19 RECOMENDAÇÕES FINAIS	107
20 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vias de Reação dos Produtos da Hidrólise dos Coagulantes de Sais Metálicos	10
Figura 2: Exemplo de reações de hidrólise para o íon Al^{+3}	18
Figura 3: Diagrama de Solubilidade do Alumínio	19
Figura 4: Diagrama de Solubilidade do Ferro	20
Figura 5: Contato operador-lodo na operação de raspagem do lodo da ETA – Itabirito	22
Figura 6: Córrego da Carioca - Corpo receptor sem rejeitos da ETA – Itabirito	25
Figura 7: Córrego da Carioca – Após receber os rejeitos da ETA – Itabirito	26
Figura 8: Unidades de tratamento e pontos de geração de resíduos	29
Figura 9: Fluxograma típico de um sistema de tratamento dos despejos líquidos gerados em ETAs	38
Figura 10: Processos envolvidos no tratamento dos resíduos líquidos e sólidos gerados em ETAs convencionais	40
Figura 11: Processos de desidratação de lodos	41
Figura 12: Processos alternativos para o tratamento e disposição de lodo	42
Figura 13: Modelo esquemático de tratamento do lodo de ETA utilizado pela COPASA –MG	53
Figura 14: Implantação de uma unidade de geotêxtil na ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo	55
Figura 15: Unidade de geotêxtil com o lodo da ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo	56
Figura 16: Tanque de equalização ligado à unidade de geotêxtil na ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo	56
Figura 17: Aspecto do efluente da unidade de geotêxtil comparado ao afluente da unidade de tratamento da ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo	57

Figura 18: Calha Parshall da ETA-Itabirito	59
Figura 19: Localização do município de Itabirito – Minas Gerais.....	60
Figura 20: Reservatório de armazenamento de água de lavagem dos filtros da ETA	62
Figura 21: Esquema de estudo dos resíduos da ETA de Itabirito-MG	63
Figura 22: Região 1 - Centro do decantador (adufa de fundo) – Ponto de descarga	63
Figura 23: Regiões 2 e 3, pontos de coleta de lodo	64
Figura 24: Regiões 4 e 5, pontos de coleta de lodo	64
Figura 25: Coleta do lodo do decantador da ETA-Itabirito (1)	65
Figura 26: Coleta do lodo do decantador da ETA-Itabirito (2)	65
Figura 27: Caracterização e classificação de resíduos sólidos	68
Figura 28: Regiões de coleta de amostras no decantador	70
Figura 29: Córrego da Carioca após a lavagem dos decantadores da ETA-Itabirito	85
Figura 30: Variação de sólidos totais no decantador (região 1) durante a descarga .	79
Figura 31: Variação de sólidos totais no decantador (região 3) durante a descarga .	80
Figura 32: Variação de sólidos totais no decantador (região 2) durante a descarga .	80
Figura 33: Variação de sólidos totais no decantador (região 5) durante a descarga .	81
Figura 34: Variação de sólidos totais no decantador (região 4) durante a descarga .	81
Figura 35: Lodo acumulado entre a cortina de distribuição e as paredes do decantador	82

Figura 36: Ação do operador na raspagem do lodo entre a cortina de distribuição e as paredes do decantador	83
Figura 37: Passagem do lodo pela cortina de distribuição	83
Figura 38: Massa de lodo produzida, segundo Kawamura	85
Figura 39: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo Kawamura.....	85
Figura 40: Massa de lodo produzida, segundo Cornwell	86
Figura 41: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo Cornwell	87
Figura 42: Massa de lodo produzida, segundo WRC	88
Figura 43: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo WRC	88
Figura 44: Massa de lodo produzida, segundo AWWA	89
Figura 45: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo AWWA	90
Figura 46: Massa de lodo produzida, segundo Richter	91
Figura 47: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo Richter	91
Figura 48: Comparação entre as massas de lodo produzidas	92
Figura 49: Marcação do lodo na parede do decantador da ETA-Itabirito	93
Figura 50: Córrego da Carioca antes do lançamento dos resíduos da ETA-Itabirito (100 metros após o ponto de descarga	94
Figura 51: Córrego da Carioca no início da descarga da ETA-Itabirito (100 metros após o ponto de descarga.....	95
Figura 52: Córrego da Carioca após a descarga do lodo da ETA-Itabirito (100 metros após o ponto de descarga)	95
Figura 53: Lodo no córrego da Carioca – Itabirito (100 metros após o ponto de descarga)	96
Figura 54: Córrego da Carioca com os resíduos – lodo do decantador (100 metros após o ponto de descarga)	96
Figura 55: Córrego da Carioca com os resíduos – lodo do decantador (100 metros	97

após o ponto de descarga)	
Figura 56: Arraste de flocos não decantados para os filtros da ETA-Itabirito	101
Figura 57: Comparação entre as massas de lodo produzidas (fórmulas) e a medida	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do Sulfato de Alumínio Comercial pela EB-2005.....	13
Tabela 2: Sulfato Férrico: Características estabelecidas por clientes e fabricante	14
Tabela 3: Limite de Concentração de Substâncias Tóxicas em Coagulantes Sulfato de Alumínio	16
Tabela 4: Limite de Concentração de Substâncias Tóxicas em Coagulantes Sulfato Férrico	16
Tabela 5: Concentrações de Metais nos Coagulantes Comerciais	17
Tabela 6: Resíduos prováveis gerados em processos de tratamento de água	33
Tabela 7: Valores de parâmetros registrados na literatura para os lodos de ETA .	34
Tabela 8: Características dos resíduos gerados nos decantadores	35
Tabela 9: Valores encontrados para o lodo da ETA de São Carlos, SP	35
Tabela 10: Comparação entre os processos de desidratação para lodos de coagulantes	42
Tabela 11: Elementos analisados nas amostras de lodo do decantador da ETA- Itabirito	66
Tabela 12: Parâmetros analisados na água de lavagem de filtro	71
Tabela 13: Turbidez da água bruta e água tratada e cor da água bruta – Consumo de coagulante	73
Tabela 14: Resultados dos parâmetros Orgânicos e Inorgânicos – Portaria 518 - MS – 2004	73
Tabela 15: Resultados dos parâmetros (agrotóxico e cianotoxinas) – Portaria 518-MS – 2004	74
Tabela 16: Resultados dos parâmetros dos padrões de radioatividade para a água potável – Portaria 518-MS – 2004	75
Tabela 17: Resultados dos parâmetros dos padrões de aceitação para consumo	75

humano – Portaria 518-MS – 2004	
Tabela 18: Resultados para os parâmetros de condutividade pH da água tratada – Portaria 518-MS – 2004	75
Tabela 19: Resultados dos parâmetros microbiológicos – Portaria 518-MS – 2004.....	75
Tabela 20: Valores de turbidez da água bruta e água tratada da ETA-Itabirito	76
Tabela 21: Resultados dos parâmetros analisados na água bruta da ETA-Itabirito, nos dias de coleta de amostras de lodo – 2005	76
Tabela 22: Resultados dos parâmetros analisados na água bruta da ETA-Itabirito, nos dias de coleta de amostras de lodo – 2006	76
Tabela 23: Relação entre volume de água tratada na ETA e volume de resíduos gerados	77
Tabela 24: Resultados dos parâmetros analisados no lodo gerado nos decantadores da ETA-Itabirito	78
Tabela 25: Produção de lodo segundo Kawamura	84
Tabela 26: Produção de lodo segundo Cornwell	85
Tabela 27: Produção de lodo segundo WRC	87
Tabela 28: Produção de lodo segundo AWWA	89
Tabela 29: Produção de lodo segundo Richter	90
Tabela 30: Concentrações de sólidos totais por região de decantadores da ETA-Itabirito	93
Tabela 31: Resultados das análises químicas dos produtos do ensaio de solubilização, realizados com o lodo da ETA-Itabirito	98
Tabela 32: Resultados das análises químicas dos produtos do ensaio de Lixiviação, realizados com o lodo da ETA-Itabirito	98
Tabela 33: Caracterização da amostra de sulfato de alumínio	99
Tabela 34: Caracterização das amostras de água de lavagem do filtro da ETA-Itabirito (2005)	100

Tabela 35: Caracterização das amostras de água de lavagem do filtro da ETA-Itabirito (2006)	100
Tabela 36: Estimativa da massa de lodo gerada na etapa de lavagem dos filtros da ETA-Itabirito	102
Tabela 37: Valores de massa de lodo produzida (fórmulas) e o valor medido	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA - American Public Health Association
ASCE - American Society of Civil Engineers
ASCE - American Society of Civil Engineers
AWWA - American Water Works Association
CEN - European Committee for Standardization
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO - Demanda bioquímica de oxigênio
DQO - Demanda química de oxigênio
EPA - United States Environmental Protection Agency
ETA - Estação de Tratamento de Água
IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
ND - não detectado
NSF - National Sanitation Foundation
PACl - policloreto de alumínio
PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
SAAE - Serviço Municipal de Água e Esgotos
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SECOQ - Seção de Controle de Qualidade de Água
SST - Sólidos em suspensão totais
SSV - Sólidos em suspensão voláteis
WRC - Water Research Center

LISTA DE SÍMBOLOS

D - dosagem de coagulante (mg/L)

g - grama

k - coeficiente de precipitação

kg - quilograma

L - litro

L/s - litros por segundo

m - metro

mg - miligrama

mg/kg - miligrama por quilograma

mg/L - miligrama por litro

m³/s - metro cúbico por segundo

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

Q - vazão (m³/dia)

T - turbidez da água bruta (uT)

ton - toneladas

uH – unidade de Hazen

uT - unidade de Turbidez

I – INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos grandes problemas enfrentados em Engenharia Sanitária e Ambiental é a destinação a ser dada aos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água. No Brasil, esse assunto só vem recebendo atenção nos últimos anos, segundo Ferreira e Sobrinho (1997), apesar de ser um problema extremamente freqüente e que tende a se agravar devido ao maior consumo de água e geração de resíduos, em função do crescimento populacional.

O tratamento de água visando torná-la potável gera uma quantidade de resíduos, que pode ser de diferentes tipos, dependendo da concepção do sistema de tratamento. No Brasil, o sistema de tratamento mais utilizado é o chamado convencional, que gera dois tipos principais de resíduos/rejeitos. Um deles é a água de lavagem dos filtros, que, em algumas das Estações de Tratamento de Água vem recebendo tratamento e destinação adequados. Esse resíduo (água de lavagem) é reaproveitado, pós tratamento, o que gera uma economia aos sistemas de tratamento. A viabilidade econômica do reaproveitamento desse resíduo é o que tem tornado essa alternativa difundida. No entanto, para o outro resíduo gerado em grandes quantidades nas ETAs, o lodo dos decantadores, ainda se está em busca de uma solução definitiva. Portanto, o seu tratamento e destinação final ainda são grandes problemas ambientais.

A demanda por água potável e a má qualidade da água dos rios está exigindo maiores concentrações de produtos químicos nas ETAs, gerando maior quantidade de resíduos, denominados lodos de ETA.

A caracterização e quantificação do lodo gerado nas ETAs é importante para o conhecimento do sistema de tratamento, bem como serve para avaliar o desempenho das unidades de tratamento.

De acordo com a legislação brasileira, o lodo gerado nos decantadores é classificado como resíduo sólido, e, portanto, não pode ser disposto em corpos d'água superficiais, PROSAB (2001). Apesar disso, a maior parte das ETAs do Brasil dispõe esse resíduo diretamente nos corpos d'água, uma prática que pode gerar uma série de danos ao meio ambiente, podendo promover impactos ambientais intensos, PROSAB (2001). Essa situação se deve, em grande parte, à escassez de recursos e ao alto custo de

implantação e operação dos sistemas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos.

Atualmente, antes de se pensar na disposição e no tratamento de que os resíduos gerados em ETAs necessitam, deve-se pensar na utilização dos mesmos, AWWA (1991). Assim, é de fundamental importância o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas que viabilizem a utilização desses resíduos, bem como o seu tratamento e disposição adequada.

A caracterização e quantificação dos resíduos gerados nas ETAs assumem papel fundamental tendo-se em vista a necessidade de acompanhamento efetivo da rotina de tratamento, fazendo com que uma ETA seja encarada como uma unidade industrial, na qual a matéria-prima (água bruta) é trabalhada/transformada em um produto final (água potável) e distribuída aos consumidores. Na etapa de transformação da matéria-prima ocorre a geração dos resíduos da ETA, os quais merecem atenção e destaque devido ao seu potencial poluidor.

2. OBJETIVOS

Considerando-se o problema crescente referente à disposição final dos resíduos de ETAs e focando-se na Estação de Tratamento de Água de Itabirito – MG, tem-se como objetivos básicos:

- Quantificar e caracterizar os resíduos gerados nas etapas de decantação e filtração, por meio de medições e análises laboratoriais;
- Comparar os resultados obtidos com os da literatura pesquisada;
- Correlacionar a quantidade de lodo gerado com a turbidez da água bruta;

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Importância do estudo da água

A fixação dos seres humanos, em qualquer região do planeta, está vinculada às disponibilidades, qualitativas e quantitativas, das fontes de energia e insumos necessários à sobrevivência, tais como: luz solar, ar, água, alimento. Como principal condição para a permanência do homem em uma determinada região, os insumos sob a forma de alimento e água tornam-se preponderantes sob qualquer outra forma de energia.

Jordão e Pessôa (1995) afirmam que o instinto e a necessidade que levam o homem a se fixar próximo às fontes de energia e muitas vezes transportá-las de longas distâncias, não lhe configuram igualmente importantes no momento de se medir a necessidade de afastar ou condicionar os resíduos refugados pelo organismo ou pela própria comunidade.

Segundo Santos et al. (2001), a escassez dos recursos hídricos, seja por condições climáticas, seja pelo crescimento mundial da população ou ainda pela intervenção do ser humano no ambiente, tem-se tornado cada dia mais intensa, afetando a qualidade, disponibilidade e a capacidade natural de autodepuração dos corpos d'água. Ainda segundo Santos et al. (2001), o uso dos recursos naturais para atender à demanda, muitas vezes de maneira insustentável e desequilibrada, vem comprometendo a qualidade do meio ambiente e gerando discussões em diversos países sobre os problemas ambientais relativos à degradação dos corpos d'água, fazendo com que cientistas e pesquisadores busquem medidas capazes de proteger, preservar e melhorar a qualidade das águas.

Várias regiões áridas e semi-áridas do planeta como, por exemplo, países da região do mar Mediterrâneo, têm aplicado o uso de águas residuárias como forma de minimizar os efeitos causados pela escassez de água natural. No Brasil, a Região Metropolitana de São Paulo - RMSP é considerada crítica, sob o ponto de vista de disponibilidade de água, visto que é uma região altamente industrializada e de grande contingente populacional. Sendo assim, a RMSP, em um futuro próximo, necessitará de novas formas de reaproveitamento de água, com vistas a sua preservação e consumo.

A urbanização e o crescimento da população ocorridos nos últimos anos têm sido acompanhados pela crescente demanda por energia, bens de consumo e água para o abastecimento público e industrial. Como consequência, observa-se o aumento do volume dos resíduos gerados por todos os processos inerentes ao crescimento populacional e industrial. Com isso, verifica-se a necessidade de compreensão das relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente como um pressuposto fundamental para o planejamento de sistemas de saneamento em centros urbanos.

Portela et al. (2003) consideram que nos centros urbanos, o abastecimento de água torna-se cada dia mais centrado na qualidade do produto a ser distribuído à população, mas, em contrapartida, as quantidades disponíveis estão mais distantes, em função de descuidos do próprio setor responsável pela área sanitária nos municípios, ou seja, não há um desenvolvimento paralelo de ações que visem a qualidade e quantidade de água a ser distribuída à população. Nos últimos anos, tem-se observado que a finalidade dos projetos de saneamento tem saído de sua concepção sanitária clássica, recaindo em uma abordagem ambiental, que visa não só promover a saúde do homem, mas, também, a conservação do meio físico e biótico. Com isso, a avaliação ambiental dos efeitos dos sistemas de saneamento nas cidades consolidou-se como uma etapa importante no processo de planejamento, no que se refere à formulação e seleção de alternativas e à elaboração e detalhamento dos projetos selecionados. A avaliação da viabilidade ambiental assume caráter de forte condicionante das alternativas a serem analisadas, ocorrendo, muitas vezes, a predominância dos critérios ambientais em relação, por exemplo, aos critérios econômicos, segundo Cordeiro e Campos (1999).

O entendimento das relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente, é de grande importância para o planejamento de um sistema de saneamento, pois é interessante destacar que o saneamento não pode ficar apenas fadado ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, a coleta e disposição dos resíduos, drenagem urbana e o controle de vetores. É preciso que mais esferas da organização administrativa se interajam com o saneamento, como por exemplo: os setores da educação, por meio das escolas fundamentais, técnicas e universidades.

Grande parte das Estações de Tratamento de Água, até então projetadas e instaladas no Brasil, possuem enfoque apenas na qualidade do produto final distribuído

à população. É necessária, também, uma preocupação em relação aos rejeitos gerados nas operações e processos do tratamento da água.

Os sistemas de tratamento de água de abastecimento possuem operações e processos unitários, que os enquadram em qualquer indústria na qual uma dada matéria-prima é transformada resultando em um produto final. Estes sistemas, como outros, geram resíduos em algumas etapas do processo. Os resíduos formados durante o processamento da matéria-prima, em particular a água bruta, podem apresentar diferentes características, as quais, além da qualidade da água bruta, podem estar relacionadas aos produtos utilizados no tratamento da água, às condições de operação, dentre outros fatores.

Os resíduos apresentam um potencial poluente devido à presença, em sua constituição, de impurezas removidas da água bruta durante o processo de tratamento, e compostos químicos resultantes da adição de coagulantes e condicionantes. Portanto, dependendo das características da água bruta, pode-se ter maior ou menor presença de material orgânico e inorgânico. A maior parcela é de natureza inorgânica, formada por areias, argilas e siltes, e a parte orgânica constituída de substâncias húmicas, as quais conferem cor à água, e organismos tais como plâncton, bactérias, vírus, etc. Estas impurezas quando alcançam um curso d'água podem, dependendo das características físicas do mesmo, ser dispersas rapidamente por correntes ou sedimentarem próximo ao local de lançamento, caso contrário podem provocar inibição da atividade biológica, más condições estéticas (mudanças de cor e turbidez). O aumento da concentração de sólidos no fundo do corpo receptor (assoreamento indesejável), pode também, influir negativamente em áreas de criação e desova de peixes.

No Brasil, os resíduos decorrentes do tratamento são dispostos, com grande frequência, em cursos d'água próximos às estações de tratamento de água. Os efeitos desse lançamento devem ser estudados com profundidade, fornecendo subsídios, para que se possa conscientizar os gestores sobre a necessidade de disposição dos resíduos de forma adequada.

No Brasil, existem cerca de 7500 ETAs de ciclo completo ou convencionais de diferentes capacidades. Contudo, a maior preocupação, até então observada, tem sido em relação aos resíduos gerados em estações de tratamento de esgotos (ETEs) e pouco

trabalhos são voltados para a área dos resíduos gerados nas ETAs, segundo Di Bernardo et al. (1999).

Um dos aspectos que vem dificultando a aplicação de sistemas de recuperação e tratamento dos despejos nas estações de tratamento de água em nosso país são os custos envolvidos no processo e o pouco conhecimento das técnicas empregadas. O tratamento dos despejos líquidos e a disposição final do lodo resultante são de grande importância, visto sua constituição e o grande volume produzido, devendo-se analisar a matéria sobre dois aspectos:

- a) tratamento dos despejos para diminuição do volume descartado;
- b) disposição final sem agredir o meio ambiente.

Segundo Grandim (1992), os resíduos gerados provêm essencialmente dos decantadores e filtros. Floculadores e tanques de preparo de soluções e suspensões de produtos químicos produzem despejos por ocasião das lavagens periódicas e em volumes não significativos.

A disposição do lodo em corpos d'água superficiais não é permitida pela legislação brasileira atual, que classifica esse lodo como resíduo sólido. Algumas pesquisas avaliaram o impacto ambiental dessa destinação, relacionadas principalmente à concentração de alumínio (nos lodos gerados em ETAs que utilizam sulfato de alumínio ou outro sal de alumínio como coagulante), PROSAB (2001).

Segundo Filho e Di Bernardo (1999), estima-se que as águas de lavagem dos filtros de uma ETA representem cerca de 1 a 5% do volume da água tratada. A prática mais comum tem sido o lançamento dessas águas, sem nenhum tratamento, em corpos receptores próximos ou na rede de águas pluviais, favorecendo o agravamento do grau de poluição e contribuindo para uma crescente degradação do meio ambiente.

Como a água de lavagem dos filtros apresenta baixa concentração de sólidos totais e uma vazão significativa, é interessante que se faça sua clarificação, com recirculação do sobrenadante ao início da estação e a diminuição do volume de despejo, que será então tratado e/ou enviado para a disposição final.

Segundo Richter (2001), entre os métodos alternativos de disposição de lodos de ETAs pode-se incluir o lançamento na rede coletora, em lagoas com grande tempo de detenção, aplicação no solo, aterros sanitários e aproveitamento de subprodutos. Estes últimos três métodos de disposição exigem a desidratação do lodo em um nível que

permita facilitar seu manuseio e reduzir os custos de transporte, por meio da redução do volume e conseqüente aumento de densidade.

Esta situação estimula a exigência de uma visão mais abrangente em relação às formas de operação das ETAs. Com o crescimento da população, a qualidade dos mananciais se deteriora devido à acentuada poluição decorrente do aumento do consumo de bens e das indústrias. Como conseqüência imediata nas ETAs, ao receberem a água bruta de pior qualidade, ocorre o aumento da dosagem de compostos químicos na água, em contrapartida, eleva-se quantidade de rejeitos gerados.

3.2. Operações e Processos de Tratamento Água

As operações e processos utilizados no tratamento de água para o abastecimento público visam torná-la adequada ao consumo humano, obedecendo aos critérios de qualidade definidos pelos padrões de potabilidade, de forma a atender condições mínimas de higiene, ser agradável aos sentidos, estar isenta de concentrações de microrganismos e substâncias orgânicas e inorgânicas não prejudiciais à saúde dos consumidores. No Brasil, a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde define os padrões de potabilidade da água para abastecimento público. Esta Portaria entrou em vigor em março de 2004, quando até então vigorava a Portaria 1469 de 2000.

A escolha da tecnologia de tratamento a ser utilizada depende das características biológicas, físicas e químicas (orgânicas, inorgânicas e radiológicas) de cada água, podendo exigir tratamentos simples ou mais específicos, visando alcançar os padrões de potabilidade exigidos.

As características e quantidades dos resíduos gerados irão, por sua vez, depender do tipo de tratamento de água adotado, das características da água bruta, das dosagens e produtos químicos utilizados, das reações químicas ocorridas no processo e da forma de remoção e tempo de retenção destes resíduos nas unidades de tratamento. Existem diversos processos de tratamento de água como, por exemplo, tratamentos sem coagulação química (filtração lenta), tratamentos com coagulação química (filtração direta ou tratamento completo), abrandamento (por troca iônica ou por dosagem de cal) e separação por membrana (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa), cada um gerando resíduos de características distintas.

No Brasil, a maioria das ETAs que tratam água de mananciais superficiais utiliza o tratamento convencional com ciclo completo, com a aplicação de cloro para oxidar a matéria orgânica e alguns metais como ferro e manganês, facilitando sua remoção, e adição de cal ou soda para ajustar o pH para as fases seguintes do tratamento. No caso dos mananciais que possuem água com grande comprometimento de sua qualidade, o tratamento pode, ainda, ser complementado com o uso conjunto de outras técnicas, como adsorção em carvão ativado para eliminar gosto e odor, ou apresentar algumas variantes, como oxidação com permanganato de potássio ou pré-desinfecção com ozônio, de forma a atender os requisitos exigidos pelos padrões de potabilidade.

O tratamento completo ou convencional, comum à maioria das ETAs no Brasil, consiste nas seguintes operações e processos unitários, segundo Di Bernardo (1993).

3.2.1. Coagulação

É um processo realizado na ETA na unidade de mistura rápida, geralmente com a adição de sais de alumínio ou ferro ou de polímeros sintéticos. Resulta de dois fenômenos: químico, que consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva, dependente da concentração do metal e pH final da mistura; e físico, que consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água. A coagulação depende, fundamentalmente, das características da água e das impurezas presentes conhecidas através de parâmetros como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, força iônica, sólidos totais dissolvidos, tamanho e distribuição das partículas em estado coloidal e em suspensão, etc. Os coagulantes mais utilizados nas estações de tratamento de água são os sais de alumínio e ferro, como sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e policloreto de alumínio (PACl). Como auxiliares de coagulação, podem-se citar os polímeros (polieletrólitos) que podem ser catiônicos, aniônicos ou não iônicos.

A coagulação é um processo de desestabilização das partículas presentes na água bruta, visando tornar o sistema instável, com as partículas menos resistentes à agregação.

Para gerar a desestabilização das partículas, são adicionados os produtos chamados de coagulantes, principalmente sais com os íons Al^{+3} e Fe^{+3} . É necessário que ocorra a mistura desses coagulantes com a água bruta, promovendo a dispersão rápida e uniforme do coagulante, o que é chamado de mistura rápida, segundo Cheremisinoff (1995). Essa agitação pode ser obtida por meios mecânicos, com o uso de agitadores, ou hidráulicos, como em ressaltos hidráulicos. Quando esses coagulantes são adicionados à água, ocorrem reações de hidrólise, resultando na formação de diferentes produtos, que podem ser espécies mononucleares, polinucleares e um precipitado de hidróxido metálico, AWWA (1991). Os produtos da hidrólise podem reagir de diferentes maneiras. A Figura 1 mostra as vias que podem ser seguidas.

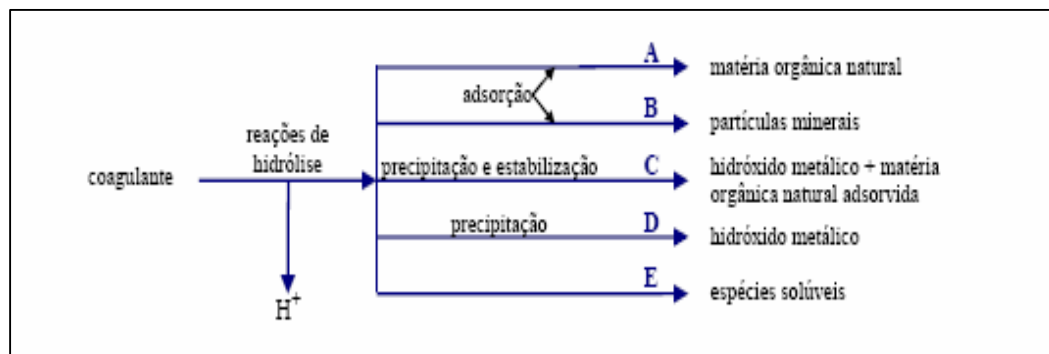


Figura 1: Vias de Reação dos Produtos da Hidrólise dos Coagulantes de Sais Metálicos
Fonte: Januário (2004)

As vias de reação A e B indicam a reação dos produtos da hidrólise com alguns grupos nas superfícies das partículas. Com isso, pode ocorrer a neutralização da carga superficial das partículas que possuem carga negativa, o que é chamado de coagulação por neutralização da carga.

Nas vias C e D ocorre a formação dos hidróxidos metálicos ($Al(OH)_3$ e $Fe(OH)_3$), para alumínio e ferro respectivamente. Se houver a presença de matéria orgânica natural, a fração mais hidrofóbica tende a ficar adsorvida ao precipitado à medida que esse se forma (via C). Quando a dosagem de coagulante é superior à demanda exercida, ocorre a formação do precipitado (instável), e na etapa seguinte (floculação) ocorre a formação de flocos. Quando ocorre a formação do precipitado tem-se a coagulação por varredura. Nesse caso, as partículas coloidais são envolvidas pelo precipitado e removidas quando essas sedimentam.

3.2.1.1. Principais tipos de coagulantes e fontes de origem

A maior parte dos coagulantes utilizados no tratamento de água são sais, sulfato ou cloreto, que contém os íons Al^{+3} ou Fe^{+3} . Outros coagulantes têm sido estudados visando a sua aplicação no tratamento de água, como polímeros e coagulantes naturais, a base de produtos agrícolas. Os polímeros têm grande potencial de uso no tratamento de água, sendo que algumas ETAs no Brasil utilizam esses produtos, em geral em conjunto com coagulantes metálicos. Duas razões para o uso dos polímeros ainda ser restrito são o custo elevado e potencial de geração de resíduos tóxicos na água tratada, segundo Mandloi et al. (2004).

Alguns materiais têm sido estudados como coagulantes naturais, de diferentes fontes, como semente de moringa, milho, substâncias da casca de caranguejo e taninos vegetais. Esses coagulantes estão em estudo, podendo se tornar uma alternativa viável para substituição dos sais metálicos. Até o momento os coagulantes de sais metálicos aparecem como coagulantes superiores, e os coagulantes naturais têm sido recomendados para serem utilizados em conjunto com coagulantes metálicos, segundo Mota e Paterniani (2004).

Em relação aos coagulantes de sais metálicos, eles podem ser classificados em cinco principais grupos que são: os sais metálicos simples, sais metálicos pré-hidrolisados, sais metálicos com ácido forte, sais metálicos com aditivos e aluminato de sódio, AWWA (1991).

Os sais metálicos simples são o sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico, que podem ser encontrados na forma sólida (agregado ou granular) ou em soluções aquosas concentradas. Os sais metálicos pré-hidrolisados são sais que, no momento da fabricação, recebem bases que neutralizam parte dos íons hidrogênio liberados na reação de hidrólise.

Esses coagulantes com cloreto de alumínio são chamados de cloreto de polialumínio, ou PACl. De acordo com McCurdy et al. (2004), esse coagulante apresenta como vantagem o fato de ser mais efetivo em baixas temperaturas e atuar de maneira eficaz em uma faixa mais larga de pH.

Quando o coagulante contém o sal metálico e alguma quantidade de um ácido forte (o mais frequentemente utilizado é o ácido sulfúrico), o coagulante é chamado de

sais metálicos com ácido forte. A utilização desses coagulantes gera uma queda no pH maior que a gerada pelos sais metálicos simples.

Outra opção existente são os coagulantes com aditivos, como o ácido fosfórico. Nesse caso, a adição de ácido fosfórico faz que o coagulante se comporte de maneira similar ao com ácido forte, mas, quando é adicionado à água, há a formação do precipitado $AlPO_4$. Outros aditivos que são utilizados são polímeros.

O aluminato de sódio ($NaAlO_2$) tem uso limitado, principalmente, devido ao custo elevado em relação aos outros tipos de coagulantes e ao manuseio mais complicado. Quando esse coagulante é adicionado à água, ocorre a formação de hidróxido de alumínio e, ao contrário dos outros coagulantes de sais metálicos, a alcalinidade e o pH da solução tendem a aumentar.

Os sais metálicos simples são utilizados com muita frequência no Brasil, sendo que os tipos mais empregados no mercado são o sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico ($Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ e $FeCl_3$, respectivamente). Estão disponíveis no mercado como sólidos cristalinos ou soluções concentradas. As características e a qualidade do coagulante são função da matéria prima utilizada e do processo produtivo e a maior parte das impurezas nos coagulantes encontrados no mercado são provenientes da matéria bruta utilizada nos processos de fabricação, AWWA (1991).

3.2.1.2. Características e comportamento químico dos coagulantes de sais metálicos

Existe uma série de normas nacionais e internacionais que estabelecem critérios para os coagulantes comerciais de sais metálicos. A ABNT possui uma Norma (EB-2005: Sulfato de Alumínio) que fixa as condições exigíveis para o fornecimento e recebimento do produto sulfato de alumínio, para utilização no tratamento de água destinada ao abastecimento público, entre outros fins. A norma fixa condições relativas às características de apresentação, embalagem, armazenamento, inspeção, aceitação e rejeição, e condições específicas, que englobam composição química e granulometria.

A composição química que deve ser atendida pelo coagulante comercial, de acordo com essa norma está colocada na Tabela 1. Como pode ser observado, em

relação à presença de contaminantes, somente há indicações em relação à presença de ferro e não para outros metais.

Tabela 1: Características do Sulfato de Alumínio Comercial pela EB-2005

Características	Sulfato de Alumínio	
	sólido	líquido
Alumínio total solúvel em água (% em massa como Al_2O_3) - mín.	14,0	7,5
Ferro total solúvel em água (% em massa como Fe_2O_3) - máx.	2,5	1,2
Resíduo insolúvel em água (% em massa) - máx.	6,0	0,2
Acidez livre (% em massa como H_2SO_4) - máx.	0,5	0,5
Basicidade (% em massa como Al_2O_3) - máx.	0,4	0,2

No Brasil, os valores limites de metais pesados são determinados por quem adquire o produto para utilização (não comumente determinados) ou pelos próprios fabricantes, que colocam no mercado uma série de produtos com diferentes características. Na Tabela 2 são apresentadas as características para o sulfato férrico estabelecidas por algumas empresas que utilizam este produto.

Tabela 2 – Sulfato Férrico: Características estabelecidas por clientes e fabricante
 Metais expressos em mg/kg do sal
 Fonte: Freitas (2004)

	Fe ₂ O ₃	Insolúveis	Acidez Livre	pH	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Se	Ag	Al	Mn
KEMWATER	≥17,0%	≤0,1%	≤ 0,5%	≤2,0	≤10,0	≤4,0	≤40,0	≤10,0	≤0,8	≤8,0	≤40	≤340	≤1200
SABESP	≥17,0%	≤0,1%	≤ 0,5%	≤2,0	≤10,0	≤5,0	≤50,0	≤10,0	≤1,0	≤10,0	≤50	≤340	≤1200
AS KEMIVESI	≥16,0%	≤0,01%	≤ 0%	≤1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAGECE	≥17,0%	≤0,1%	≤ 0,5%	-	≤10,0	≤4,0	≤40,0	≤40,0	≤0,8	≤8,0	≤40	≤340	≤1200
CATAGUASES	≥17,0%	≤0,2%	≤ 0,5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEN	-	≤0,2%	-	-	≤50,0	≤50,0	≤50,0	≤40,0	≤10,0	≤60,0	-	-	≤2
COPASA	≥17,5%	-	≤ 1,0%	-	≤30,0	≤3,0	≤30,0	≤30,0	≤0,6	≤6,0	≤30	-	-
DAE JUNDIAÍ	≥17,0%	≤0,1%	≤ 0,5%	-	≤50,0	≤5,0	≤50,0	≤50,0	≤1,0	≤10,0	≤50	≤340	≤1200
KEMIRA KEMWATER	≥16,0%	-	≤ 0,2%	≤1,0	≤0,1	≤0,05	≤10,0	≤1,0	≤0,01	≤0,05	-	-	≤800
KEMIRA MILJO S/A	≥15,5%	-	-	≤1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NHEEL	≥17,0%	≤0,1%	≤ 0,5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIRACICABA	≥17,0%	≤0,1%	≤ 0,5%	≤2,0	≤50,0	≤5,0	≤50,0	≤50,0	≤1,0	≤10,0	≤50	≤340	≤1200
SANASA	≥17,0%	≤0,1%	≤ 0,5%	≤2,0	≤50,0	≤5,0	≤50,0	≤50,0	≤1,0	≤10,0	≤50	≤340	≤1200
SEMASA	-	-	-	-	≤50,0	≤5,0	≤50,0	≤50,0	≤1,0	≤10,0	≤50	-	-
SOROCABA	≥17,0%	≤0,1%	± 0,5 %	-	≤50,0	≤5,0	≤50,0	≤50,0	≤1,0	≤10,0	-	-	≤1200

Existem normas da American Water Works Association - AWWA para sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico líquido. Em todas, é estabelecido que o coagulante não deve conter substâncias em quantidades capazes de causar efeitos deletérios à saúde de quem consome a água que foi tratada adequadamente com o coagulante.

A NSF - National Sanitation Foundation estabelece as concentrações máximas de substâncias tóxicas, segundo um procedimento que determina que um coagulante possa gerar diretamente na água uma concentração de 10% da concentração máxima permitida (MCL – *maximum contaminant level*). Portanto, esse valor é função da dosagem de coagulante utilizada e do valor máximo permitido, AWWA (1991).

As normas européias do Comitê Europeu para Padronização (CEN) para sulfato de alumínio e sulfato férrico são específicas para produtos que serão utilizados para abastecimento de água e definem as concentrações máximas para alguns contaminantes, relacionados às matérias primas e processos comumente utilizados, CEN (1996) e CEN (1997).

Os valores máximos estabelecidos para o sulfato de alumínio e o sulfato férrico estão expressos nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Limite de Concentração de Substâncias Tóxicas em Coagulantes: Sulfato de Alumínio
Concentrações em mg/kg de Al
Fonte: Freitas (2004)

PARÂMETRO	NSF	CEN		
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
As	330	14	40	100
Cd	77	3	50	100
Cr	330	30	700	1000
Hg	11	4	10	20
Ni	-	20	700	1000
Pb	330	40	200	800
Sb	-	20	40	120
Ag	330	-	-	-
Se	77	20	40	120

Tabela 4 – Limite de Concentração de Substâncias Tóxicas em Coagulantes: Sulfato Férrico
Concentrações em mg/kg de Fe⁺³
Fonte: Freitas (2004)

PARÂMETRO	NSF	CEN		
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
As	219	1	20	50
Cd	44	1	25	50
Cr	219	100	350	500
Hg	9	0,1	5	10
Ni	-	300	35	500
Pb	219	10	100	400
Sb	-	10	20	60
Ag	219	-	-	-
Se	44	1	20	60

Em geral, as pequenas quantidades de metais presentes não são suficientes para comprometer a qualidade da água tratada em ETAs. Os metais podem estar presentes na forma solúvel, mas também podem precipitar ou serem adsorvidos nos flocos formados pela adição dos coagulantes. Assim, os metais presentes nos coagulantes podem aumentar a concentração de metais no lodo gerado no processo de tratamento, AWWA (1996).

A Tabela 5 mostra os resultados dos estudos de caracterização do sulfato de alumínio comercial de 4 marcas diferentes, por Cornwell et al. (1990). As concentrações de alumínio variam de 50 g/L a 63 g/L.

Tabela 5 – Concentrações de Metais nos Coagulantes Comerciais
 Fonte: Freitas (2004)

PARÂMETROS	IMPUREZAS NO SULFATO DE ALUMÍNIO COMERCIAL (mg/kg Al)				Sulfato de alumínio isento de ferro
	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	
As	47,6	-	-	-	-
Ba	7,9	2,0	-	-	-
Cd	-	8-14	0,41	5,4	5,4
Ca	100	-	-	-	-
Cr	150,8	52-440	1288	726,6	16,1
Co	-	34-60	-	-	-
Cu	1,6	16-30	91,2	50,9	-
Fe	18413	17000	30600	37780	180
Pb	23,8	180-200	298,5	181,6	100
Mg	198	110-660	-	-	-
Mn	27	36-140	331,7	363,3	-
Hg	0,02	-	0,08	0,06	-
Ni	1,6	-	723,1	844,7	-
K	88,9	-	-	-	-
Se	-	-	-	-	-
Si	225,4	-	-	-	-
Ag	6,3	2-12	4,15	3,63	2,7
Na	905	-	-	-	-
Sn	-	-	2570	2815,6	44,6
Zn	17,5	4-34	141	154,4	17,9

Como pode ser observado na Tabela 5, o contaminante encontrado em maior quantidade no sulfato de alumínio comercial é o ferro, com concentrações de 17 a 37,78 g/kg Al. Os outros contaminantes seguintes com maiores concentrações são: cromo, manganês, zinco, chumbo e cobre.

Os coagulantes compostos por sais metálicos simples, como cloreto férrico, sulfato férrico e sulfato de alumínio, quando são adicionados à água, liberam os íons metálicos trivalentes (Fe^{+3} e Al^{+3}).

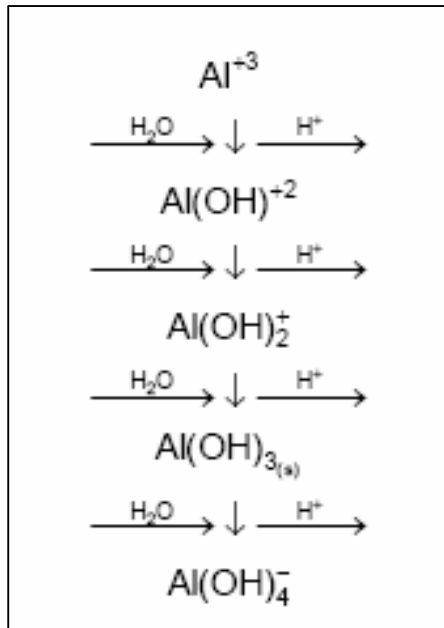


Figura 2: Exemplo de reações de hidrólise do o íon Al^{+3}

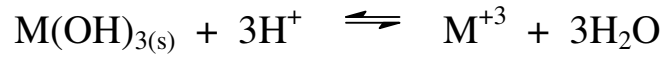
Esses íons sofrem reações de hidrólise, como as expressas acima, que são algumas das que podem ocorrer se houver íons de alumínio. Essas reações podem formar produtos mononucleares, polinucleares e o precipitado. Essas reações podem ser escritas de forma genérica, para qualquer composto metálico M, como:



A partir do equilíbrio iônico acima, pode-se escrever a equação da constante de equilíbrio k, expresso na eq (1):

$$K = \frac{[\text{M}_x(\text{OH})_y^{(3x-y)+}] \cdot [\text{H}^+]^Y}{[\text{M}^{+3}]^X} \quad (1)$$

Nas reações que envolvem o composto na forma sólida, como precipitado, a constante de equilíbrio é chamada de constante de solubilidade e é dada da seguinte forma:



$$K = [\text{M}^{3+}] / [\text{H}^+]^3$$

É possível verificar, pelas equações apresentadas, que a forma em que estará o metal é função do pH da solução e da concentração total do metal. Esse comportamento pode ser observado nos diagramas de solubilidade para cada metal, que são construídos a partir dessas equações e respectivas constantes de equilíbrio. As Figuras 3 e 4 apresentam os diagramas de solubilidade para o alumínio e ferro, respectivamente.

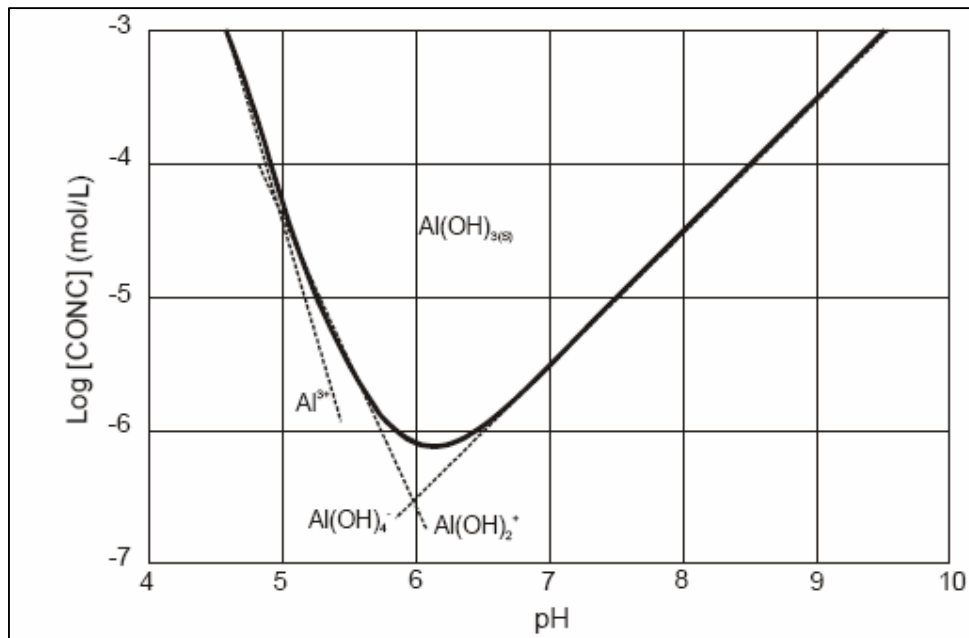


Figura 3: Diagrama de Solubilidade do Alumínio
 Fonte: Di Bernardo (1999)

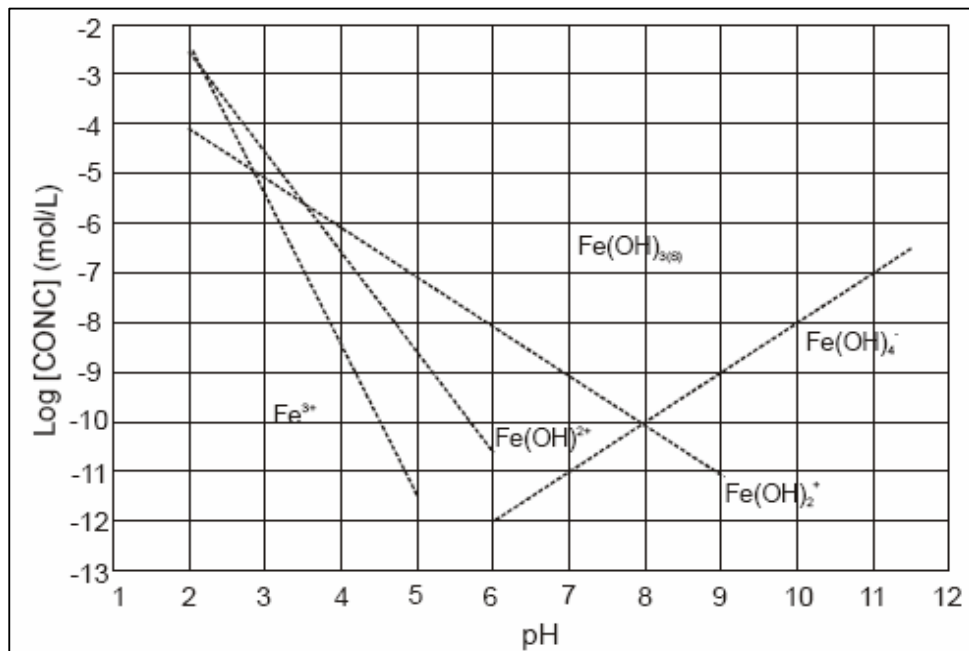


Figura 4: Diagrama de Solubilidade do Ferro
 Fonte: Di Bernardo (1999)

É possível observar que para valores baixos de pH, ocorre a geração de produtos com carga positiva e o íon metálico se encontra na forma aquosa como Al^{+3} ou Fe^{+3} , dependendo do coagulante utilizado.

A solubilidade mínima do alumínio (e conseqüente formação máxima de precipitado) ocorre, portanto, em valores de pH da ordem de 6,3 e para o ferro a solubilidade mínima ocorre em pH da ordem de 8, AWWA (1996).

3.2.2. Floculação

Ocorre em seguida à coagulação e consiste numa agitação relativamente lenta da água para que ocorram choques entre as impurezas, que se aglomeram formando partículas maiores, denominadas flocos, que podem ser removidos por sedimentação, flotação ou filtração rápida.

3.2.3. Sedimentação e Flotação:

A sedimentação, que ocorre nos decantadores, é o fenômeno físico em que as partículas suspensas formadas durante a floculação (flocos) apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica devido à ação da gravidade, indo depositar-se no fundo, formando o lodo. Já a flotação caracteriza-se pela ascensão das partículas suspensas pela aderência de bolhas de ar introduzidas no líquido, tornando-as de menor massa específica que o meio onde se encontram. A sedimentação ou a flotação das partículas suspensas propiciam a clarificação do meio líquido, ou seja, a operação de separação das fases sólida e líquida. No Brasil, a maioria das ETAs utilizam o processo de sedimentação para clarificação de suas águas. Ao se depositarem nos decantadores, os flocos formam uma camada de lodo no fundo dos decantadores, esta camada é removida periodicamente.

Dependendo do porte da estação de tratamento de água, a remoção dos sólidos depositados no decantador pode ser realizada de forma mecanizada, hidráulica ou manual.

No caso de descarga contínua ou semi-contínua do lodo do decantador, há uma maior frequência e controle do sistema de tratamento, evitando, também, a ocorrência de condições anaeróbicas no lodo que ficaria depositado no fundo do decantador. A remoção contínua pode ser mecanizada ou hidráulica, e o decantador deve possuir tubulações e demais acessórios que permitam a descarga de lodo em intervalos regulares de tempo, que podem ser de horas ou dias, sem que seja necessária a interrupção do tratamento, segundo Reali (1999).

Em decantadores sem remoção contínua do lodo, a limpeza é feita em intervalos que variam de dias a meses, usualmente de 20 dias a 2 ou 3 meses, sendo a remoção do resíduo feita em bateladas. Esta situação dificulta o gerenciamento dos resíduos, além de gerar lodos mais concentrados que os observados em decantadores de alta taxa ou convencionais com dispositivos de extração contínua de lodo, por Reali (1999).

No caso de limpeza manual, a remoção é realizada após cerca de 30 a 60 dias de operação, com o esvaziamento da unidade e lavagem por jateamento de água sob alta pressão, resultando concentrações de sólidos totais entre 4 e 13%, de acordo com Grandin (1992).

Nesta situação o lodo é retirado dos decantadores manualmente, sendo para tanto, necessária a paralisação parcial ou completa da ETA. Também, do ponto de vista de segurança de trabalho, esta atuação do operador da ETA pode acarretar malefícios à sua saúde, uma vez que o operador entra em contato direto com o lodo do decantador. O contato operador-lodo pode ser verificado na Figura 5.



Figura 5: Contato operador-lodo na operação de raspagem do lodo da ETA-Itabirito

3.2.4. Filtração:

A filtração é a operação que se segue à decantação e consiste na remoção das partículas suspensas e coloidais e dos microrganismos presentes na água que escoam através de um meio filtrante. O meio filtrante pode conter uma camada simples de areia ou uma camada dupla de areia e carvão antracito sobre uma camada suporte de pedregulhos. Em geral, é a operação final de remoção de impurezas realizada numa ETA e, portanto, responsável pela produção de água com qualidade condizente com os padrões de potabilidade. A filtração pode ser lenta ou rápida.

A filtração lenta apresenta algumas vantagens sobre outras tecnologias, como: a não utilização de produtos químicos, a não exigência de equipamentos sofisticados, nem operadores altamente qualificados, além da simplicidade em sua construção e operação. Porém, só é efetiva para águas com valores de turbidez menores que 40 uT.

Na filtração rápida descendente, com ação da profundidade, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, e na de ação superficial, a retenção é significativa apenas no topo do meio filtrante. Independentemente da condição de filtração, após certo tempo de funcionamento, há a necessidade da lavagem dos filtros. Nos filtros rápidos ela é geralmente realizada por meio da introdução de água no sentido ascensional com velocidade relativamente alta para promover a fluidificação parcial do meio granular e liberação das impurezas. O filtro rápido descendente é o mais utilizado em estações convencionais. A água utilizada na lavagem dos filtros geralmente é descartada em cursos d'água, mas também pode ser recuperada, retornando ao início do processo de tratamento.

Usualmente, os filtros são compostos por uma estrutura de contenção, pelo meio granular, estruturas de suporte desse meio, instalações para coleta e distribuição do afluyente, água de lavagem, instalações adicionais para lavagem e mecanismos de controle de vazão, nível d'água e pressão, segundo Cheremisinoff (1995).

A lavagem dos filtros é realizada principalmente pela passagem de água em fluxo ascendente. Pode ser feita também injeção de ar antes ou simultaneamente com a circulação da água de lavagem. Durante a passagem da água de lavagem ocorre a expansão do meio filtrante, que proporciona melhor remoção das partículas.

A água de lavagem é recolhida por canaletas, constituindo em um dos resíduos gerados no tratamento da água. O volume de água de lavagem gerado é grande, na faixa de 1 a 5% da vazão total da ETA, AWWA (1996).

3.2.5. Desinfecção

É o processo em que se usa um agente químico ou não químico que tem por objetivo a eliminação de microrganismos patogênicos presentes na água, incluindo bactérias, protozoários e vírus, além de algas, através da ocorrência de um ou mais dos seguintes mecanismos: a) destruição da estrutura celular; b) interferência no metabolismo com inativação de enzimas, c) interferência na bio-síntese e no crescimento celular evitando a síntese de proteínas, ácidos nucléicos e co-enzimas. A desinfecção é um processo seletivo, isto é, não destrói todas as formas de vida e nem elimina todos os organismos patogênicos. A destruição completa das formas vidas é a esterilização. Dentre os agentes químicos utilizados na desinfecção, em geral, têm-se os oxidantes cloro, bromo, iodo, ozônio, permanganato de potássio e peróxido de

hidrogênio e os íons metálicos prata e cobre; e entre os agentes físicos destacam-se o calor e a radiação ultravioleta, Netto e José (1987).

Para complementar o tratamento convencional, podem ser adicionados outros produtos químicos à água, como cal, para ajuste final do pH, e flúor, em teores recomendados pela OMS, para proteção dos dentes contra cáries.

3.3. Tratamento dos resíduos de ETAs

3.3.1. Relação entre qualidade da água e tratabilidade

Existe uma relação direta entre qualidade da água captada e tratabilidade da mesma. Esta relação define as ações a serem tomadas pelo operador da estação e atinge, invariavelmente, toda a população abastecida. Pode-se perceber que ações conjuntas necessitam ser tomadas para a proteção dos mananciais, otimização das ETAs e conscientização da população sob o aspecto da importância da preservação dos recursos hídricos.

Os produtos químicos são utilizados no tratamento da água para auxiliar a remoção das impurezas da mesma, sendo a dosagem dos produtos determinada em ensaios laboratoriais com a água afluyente à ETA. Quanto pior for a qualidade da água afluyente, maior será a dosagem de produto utilizado. É importante ressaltar que a qualidade do produto químico utilizado deve ser rigorosamente avaliada, tendo-se em vista a possível introdução de impurezas nele contidas na água em tratamento.

3.3.2. Origem dos despejos de uma ETA

Para transformar a água bruta em potável, as ETAs utilizam processos como coagulação, floculação, decantação e filtração dos resíduos, os quais são, normalmente, constituídos de partículas coloidais, segundo Tsutuya e Hirata (2001). De acordo com Richter (2001), o lodo de ETA é considerado um resíduo composto de água e sólidos suspensos contidos na própria água, acrescidos dos produtos químicos aplicados durante o processo de seu tratamento. Grandin et al. (1993) complementam que os resíduos presentes são orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areia, argila, siltes, além

de compostos de cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc. Outros metais pesados podem fazer parte dos sedimentos em águas fluviais devido a poluentes arrastados pelo deflúvio superficial urbano ou mesmo por despejos de efluentes industriais nos mananciais que alimentam as estações de tratamento, segundo Jesus et al. (2004).

Os sistemas tradicionais de tratamento de água de abastecimento transformam água bruta de mananciais superficiais em água potável para distribuição à população, segundo Cordeiro (1993). Estes, por sua vez, geram despejos (lodos) que vêm despertando a atenção, por serem potenciais causadores de impactos ambientais.

Para ilustrar, as Figuras 6 e 7 mostram as mudanças nas características estéticas (cor e turbidez) do corpo receptor - córrego da Carioca, ao receber os despejos da ETA de Itabirito-MG.



Figura 6: Córrego da Carioca - Corpo receptor sem rejeitos da ETA-Itabirito



Figura 7: Córrego da Carioca – Após receber os rejeitos da ETA-Itabirito

Estes impactos são provenientes, principalmente, da lavagem dos filtros e das descargas de lodos dos decantadores da estação de tratamento de água.

A lavagem dos filtros é geralmente realizada em intervalos de 12 a 24 horas com altas taxas (fluxo de água) e em curto espaço de tempo, cerca de 4 a 6 minutos. A água de lavagem apresenta turbidez da ordem de 200 uT e concentração de sólidos totais que varia de 0,01 a 0,1%. A concentração de sólidos em suspensão na água de lavagem de filtros varia bastante durante tal procedimento: é relativamente baixa no início da operação, aumenta depois de 2 a 3 minutos e atinge um valor máximo, em seguida, diminui gradativamente até o fim da operação de lavagem. O filtro é considerado limpo quando se observa clarificação e ausência de flocos na água de lavagem, segundo Reali (1999).

As características desses resíduos dependem, principalmente, do método e da periodicidade das lavagens. Usualmente, a lavagem dos filtros é realizada somente com água, e consiste na aplicação de uma vazão ascensional. Esta vazão causa a expansão do meio granular e libera o material sólido retido na camada filtrante, resultando em resíduo líquido com concentração de sólidos que pode variar de 50 mg/L a 300 mg/L, em condições normais de operação, mas que pode atingir 500 mg/L se a carreira de filtração alcançar 80 a 100 horas, segundo Scalize (1997).

Já os resíduos dos decantadores apresentam alto teor poluente/contaminante, sendo que os produtos químicos, os microrganismos e o material orgânico presentes no material sedimentado podem causar uma série de danos ao corpo receptor. Um exemplo é a redução da concentração do oxigênio dissolvido nas massas líquidas pela decomposição da carga orgânica contida nesse tipo de resíduo, o que pode tornar o ambiente anaeróbio, com acúmulo de material no fundo, produção de odores desagradáveis e mortandade de peixes, algas e etc.

De acordo com a AWWA (1996), há uma grande dificuldade em se generalizar os impactos que podem ser causados no corpo receptor quando do lançamento de lodos de ETAs, uma vez que dependem de fatores como as características físicas, químicas e biológicas das águas naturais (água bruta).

Reali (1999) comenta que, além da água bruta, é importante observar as características do corpo receptor, os produtos químicos utilizados no tratamento, o tempo de retenção e a forma de remoção dos resíduos dos decantadores.

Droste (1997) ressalta que as taxas de escoamento superficial de decantadores usados no tratamento de água devem considerar a qualidade da água bruta e o tipo de floco formado, os quais são dependentes do coagulante utilizado e da operação da unidade de floculação.

Di Bernardo (1993) observa que a sedimentação dos flocos também está relacionada com as características hidráulicas dos decantadores, sendo que algumas interferências, como turbulência, curto-circuitos e correntes secundárias podem ocasionar a ressuspensão ou prejudicar a sedimentação dos flocos.

O funcionamento hidráulico inadequado reduz a eficiência dos decantadores, dificultando a remoção do lodo e aumentando o volume de água parcialmente tratada que é perdida a cada abertura dos registros instalados no fundo dessa unidade. Valencia (1992) comenta que a perda de água pode ser reduzida quando a remoção do lodo sedimentado no fundo dos decantadores ocorre em tempos pequenos da ordem de 1 minuto.

3.4. Geração e manejo do lodo em uma ETA

Geralmente, a forma de disposição final são os aterros sanitários. Para tanto, faz-se necessária a desidratação até que atinja um teor de sólidos de no mínimo 20%. Para

se atingir este valor ou valores superiores, atualmente, são necessários métodos como, por exemplo: decantadores centrífugos e filtros prensa. Em um projeto de um sistema de desidratação de lodos de ETAs deve-se conhecer, em princípio, os seguintes fatores, segundo Richter (2001):

- 1 - Estimativa da quantidade de lodo produzida
- 2 - Métodos para minimizar a quantidade de lodo produzida
- 3 - Métodos de desidratação

Há, hoje, um sentimento crescente, ligado às exigências ambientais, que tende a exigir maiores cuidados com a disposição do lodo de tratamento e dos demais resíduos do processo de potabilização da água. Os custos decorrentes destes cuidados, dependentes que são das quantidades descartadas, tornam cada vez mais viável e justificável aprimorar os processos e minimizar os descartes.

Sob esta ótica, a redução de perdas em estações de tratamento de água, sendo uma decorrência da necessidade de preservação dos recursos ambientais (água e solo onde são dispostos os resíduos do tratamento), resulta também numa estratégia de redução dos desperdícios de água no processo mediante o aumento direto de sua eficiência e, também, quando viável, de sua recuperação para o próprio abastecimento e para outros usos qualitativamente menos restritivos.

Em que pese o fato de o percentual dessas perdas não estar entre os maiores no conjunto operacional dos sistemas de abastecimento, hoje mais comprometidos por vazamentos generalizados na rede de distribuição, observa-se que as recuperações obtidas mediante os critérios propostos são perenes e de significação não desprezível em médio e longo prazo. Isto porque as perdas por vazamento na rede tendem a se concentrar, com o tempo, em alguns setores mais desfavoráveis de distribuição, enquanto que as das ETAs afetam toda a vazão ofertada.

A recuperação da água de lavagem dos filtros deve, geralmente, ser feita de forma independente dos despejos produzidos nos decantadores, ou seja, o envio dos despejos dos decantadores ao mesmo tanque de recuperação das águas de lavagem dos filtros não é recomendável, no caso de decantadores convencionais mecanizados. Como os despejos dos decantadores representam uma parcela muito pequena da água tratada, é preferível não recuperar esta água, além de que a presença maior de sólidos e substâncias indesejáveis dentro do sistema poderá levar até a paralisação temporária da

recuperação da água de lavagem dos filtros e exigir um nível de controle para esta operação bem mais complexo. Na Figura 8 são mostradas as unidades de tratamento e pontos de geração de resíduos numa ETA convencional.

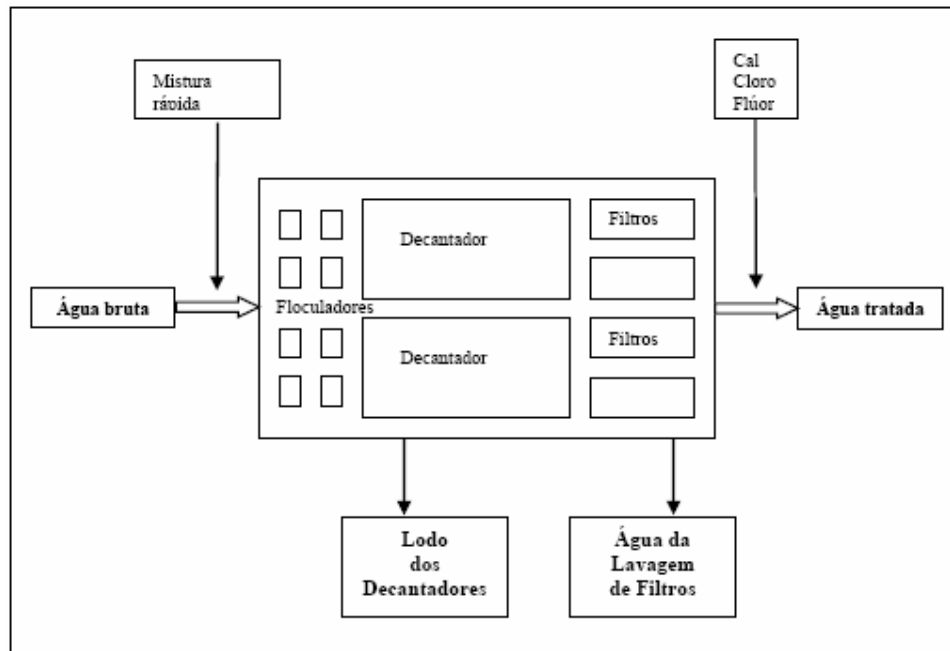


Figura 8: Unidades de tratamento e pontos de geração de resíduos

Cada uma dessas linhas geradoras de resíduos apresenta características distintas, em termos de vazão e de teor de sólidos, variando significativamente em função da qualidade da água bruta a ser tratada e do tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados no processo de tratamento dessa água. Além disso, deve-se considerar que um mesmo manancial pode apresentar variações sazonais nas características de sua água, o que provoca alterações nas quantidades dos produtos químicos utilizados, influenciando, por sua vez, a quantidade e as características dos resíduos gerados.

3.4.1. Produção de lodos

A quantidade de resíduos gerados em ETAs depende, primordialmente, da qualidade da água bruta, do tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados e do desempenho do processo de tratamento. Sua quantificação é de suma importância para o dimensionamento e operação tanto dos sistemas de adensamento e desidratação quanto das formas de uso e disposição.

De acordo com Reali (1999), a determinação da produção de lodo em sistemas de tratamento de água pode ser estimada com base em dois parâmetros:

- 1) a massa de sólidos secos presentes no lodo resultante;
- 2) o volume de água descartada que atua como veículo da massa de sólidos.

A massa de sólidos pode ser obtida efetuando-se um balanço dos sólidos presentes no sistema e de como esses sólidos deverão se apresentar no lodo. Podem-se calcular estequiometricamente os resíduos resultantes da aplicação dos coagulantes químicos.

O outro parâmetro importante é a quantificação do volume de água que é descartada juntamente com os sólidos, ou seja, a estimativa da concentração de sólidos no lodo descartado. Essa concentração, também designada por teor de sólidos, usualmente é expressa em porcentagem (em massa) de sólidos secos presentes no lodo.

A quantidade de lodo gerada poderá ser estimada “in loco”, pela determinação dos sólidos provenientes das descargas dos decantadores e de suas vazões, ou ainda teoricamente, utilizando-se fórmulas empíricas. Em ambos os casos, é conveniente o levantamento de dados da qualidade da água bruta (sólidos suspensos totais) e do consumo de produtos químicos durante um período de no mínimo um ano, segundo Ferreira e Sobrinho (1997).

Vários pesquisadores desenvolveram fórmulas empíricas distintas para fazer a estimativa da produção de sólidos secos, sendo reproduzidas algumas a seguir para ETAs que utilizam sais de alumínio ou ferro como coagulantes. Para facilitar, pode-se substituir o parâmetro “sólidos suspensos” por “turbidez”, visto que na maioria das vezes os dados de sólidos suspensos não estão disponíveis. Para isso, os autores sugerem a correção do valor da turbidez multiplicando-a por um fator que varia entre 1,0 a 2,0.

• **Fórmula apresentada por Kawamura (1991) apud Reali (1999):**

$$P = (1,5.T + k.D)$$

onde:

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

T: turbidez da água bruta (uT)

D: dosagem do coagulante (mg/L)

k: relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido

K = 0,23 a 0,26 (sulfato de alumínio)

K = 0,54 (sulfato férrico)

K = 0,66 (cloreto férrico anidro)

K = 0,40 (cloreto férrico hidratado)

• **Fórmula do Water Research Center - WRC (1979) apud Reali (1999):**

$$P = (1,2. T + 0,07. C + k.D + A)$$

onde:

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

T: turbidez da água bruta (uT)

C: cor da água bruta (uH)

D: dosagem de coagulante (mg/L)

k: coeficiente de precipitação: k = 0,17 (sulfato de alumínio líquido)

k = 0,39 (cloreto férrico líquido)

A: outros aditivos, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L)

• **Fórmula da American Water Works Association (1996)**

$$P = 3,5. T^{0,66}$$

onde:

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

T: turbidez da água bruta (uT)

• **Fórmula de Cornwell (1987)**

$$P = (0,44. DSA + 1,5. T + A)$$

onde:

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

DSA: dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T: turbidez da água bruta (uT)

A: outros aditivos, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L)

A quantidade de lodo gerada em estações de tratamento de água depende da natureza físico-química da água, da dose e tipo de coagulante e demais substâncias

envolvidas na coagulação, segundo Richter (2001). Ainda segundo Richter (2001), várias fórmulas foram propostas para a previsão da massa e/ou volume de lodo que pode ser gerado em uma estação de tratamento, porém a mais prática é:

$$S = (0,2 \cdot C + K_1 T + K_2 D) / 1000$$

Onde:

S = massa de sólidos secos precipitada em quilogramas por metro cúbico de água tratada;

C = cor da água bruta (uH)

T = turbidez da água bruta (uT)

D = dosagem de coagulante (mg/L)

$K_1 = 1,3$

$K_2 = 0,26$ – para o uso do coagulante sulfato de alumínio.

Segundo Richter (2001), na estimativa de volume de lodo gerado em estações de tratamento de água, pode-se adotar como densidade de sólidos secos o valor médio de 1800 kg/m^3 .

Segundo Cornwell e Koppers (1990) de 20% a 92% dos sólidos gerados no processo de tratamento de água são provenientes da adição de produtos químicos, uma vez que estes produtos desencadeiam os processos químicos responsáveis pela remoção dos sólidos/impurezas da água.

Saron e Silva (1997) realizaram cálculos para a determinação da produção de sólidos gerados e acumulados nos decantadores e filtros da ETA Guaraú (SABESP, São Paulo) usando as fórmulas da AWWA, WRC, Cornwell e Kawamura. Avaliaram ainda, a produção “in loco” dos sólidos através de análises dos sólidos totais dos despejos da descarga dos decantadores e da lavagem dos filtros. Com estes valores, verificou-se, por meio de análise estatística, que não ocorreram diferenças, ao nível de significância de 99%, entre a produção determinada pelas diversas fórmulas, mas que ocorreu grande diferença quando esses valores foram comparados com o que foi determinado experimentalmente. Assim, comentam sobre a importância do registro de informações mensais das quantidades de lodo geradas nas unidades produtoras das ETAs operadas, que são informações necessárias para o dimensionamento dos sistemas de tratamento de lodos, além de uma ferramenta importante para avaliação do próprio processo, que pode fornecer subsídios para sua otimização.

3.4.2. Características dos rejeitos ou resíduos de ETA

Os resíduos de ETAs são, normalmente, predominantemente inorgânicos. Suas características físicas e químicas e os níveis de concentração dos contaminantes presentes freqüentemente estabelecem as opções possíveis de sua aplicação e disposição final. Conforme pesquisa efetuada por Cordeiro (1993), alguns parâmetros para caracterização de lodos registrados na bibliografia consultada mostram-se bem variáveis, evidenciando a diversidade entre as ETAs. Além disso, há discrepância nos resultados obtidos por vários pesquisadores no que se refere às metodologias de tratamento e disposição dos lodos, confirmando que não existem soluções definitivas para a disposição dos lodos e mostrando a necessidade de equacionar o problema de forma individualizada. Na Tabela 6 são mostrados alguns dos resíduos mais comuns gerados no tratamento de água.

Tabela 6: Resíduos prováveis gerados em processos de tratamento de água
Fonte: Freitas (2004)

Produto	Proveniência	Aparece no resíduo como:	Sólido
Sólidos dissolvidos	Água bruta	Sólidos dissolvidos	Somente se precipitado
Sólidos suspensos (argila, silte)	Água bruta	Argila e silte	Sim
Matéria orgânica	Água bruta	Provavelmente sem mudança	Sim
Sais de alumínio	Coagulação	Hidróxido de alumínio	Sim
Sais de ferro	Coagulação	Hidróxido de ferro	Sim
Polímeros	Tratamento químico	Sem mudança	Sim
Cal	Tratamento químico e correção de pH	Carbonato de cálcio ou impurezas se for usada solução de cal	Sim
Carvão ativado em pó	Controle de gosto e odor	Carvão ativado em pó	Sim
Cloro, ozônio	Desinfecção	Em solução	Não

Quando se utiliza o sulfato de alumínio como coagulante primário, os possíveis compostos formados no processo irão depender do pH do meio, da presença de impurezas, da presença de ligantes e hidróxidos na água bruta. Os caminhos de

transferência do alumínio no tratamento de água são um fato extremamente complexo e poucos têm sido os trabalhos desenvolvidos para melhor conhecer esses pontos. O transporte de formas de alumínio pode se dar por meio da água filtrada e distribuída à população ou para as partículas retidas nos decantadores (lodos) e na água de lavagem dos filtros. Os lodos têm, em sua composição, concentrações elevadas de alumínio e esse material, quando lançado em cursos d'água com baixa velocidade ou lagos, pode sedimentar, isolando a camada bentônica, segundo Cordeiro e Campos (1999).

Os lodos gerados nos decantadores das ETAs completas podem ter suas características bastante variadas. Um dos grandes problemas hoje apresentados por essa questão é a falta de conhecimento sobre características não tradicionais dos sólidos presentes no lodo tais como: tamanho e distribuição das partículas, resistência específica, compressibilidade. Mesmo as características tidas como tradicionais na engenharia sanitária e ambiental têm pouca divulgação quanto aos lodos de ETAs. As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam-se um resumo de alguns parâmetros registrados na bibliografia. Observando-se estas Tabelas, verifica-se que os valores apresentados pelos parâmetros descritos mostram-se bem variáveis, evidenciando a diversidade entre as ETAs, segundo Cordeiro e Campos (1999).

Tabela 7: Valores de parâmetros registrados na literatura para os lodos de ETA

Fonte: Cordeiro e Campos (1999)

Autor/ano	DBO – mg/L	DQO – mg/L	pH	ST – mg/L	SV – % ST	SS % ST
Neubauer - 1968	30 - 150	500 - 15000	6 – 7,6	1100 - 16000	20 a 30%	-
Sutherland - 1969	100 - 232	669 - 1100	7	4300 - 14000	25%	80%
Bugg – 1970	380	1162 - 15800	6,5	4380 - 28580	20%	-
Albrecht – 1972	30 - 100	500 - 10000	5 - 7	3000 - 15000	20%	75%
Culp – 1974	40 - 150	340 - 5000	7	-	-	-
Nilsen – 1974	100	2300	-	10000	30%	-
Cordeiro – 1981	320	5150	6,5	81575	20,7%	-
Cetesb – 1990	449	3487	6 – 7,4	21972	15%	-
Cetesb – 1990	173	1776	6,7 – 7,1	6300	73%	-
Cordeiro – 1993	-	5600	6,4	30275	26,3%	-
Patrizzo – 1998	-	-	5,55	6112	19%	-

Patrizze – 1998	-	-	6,8	6281	-	-
--------------------	---	---	-----	------	---	---

Cordeiro (1993) realizou o levantamento das características do lodo de uma ETA no Estado de São Paulo e obteve os resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Características dos resíduos gerados nos decantadores
Fonte: Cordeiro (1993)

CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS GERADOS NOS DECANTADORES	
PARÂMETROS	VALOR
pH	6,4
DQO (mg/L)	5600
Sólidos Totais (mg/L)	30275
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	22324
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	7951
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	29891
Sólidos Suspensos Totais Voláteis (mg/L)	5857
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	710
Massa específica dos sólidos (g/cm ³)	2,65
Nitrogênio Total (mg/L)	280
P - PO ₄ ⁻ (mg/L)	97,8

Scalize (1997) realizou a caracterização da amostra composta do resíduo da descarga do decantador da ETA de São Carlos - São Paulo, e encontrou os valores apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores encontrados para o lodo da ETA de São Carlos, SP
Fonte: Scalize (1997)

PARÂMETROS	RESULTADOS
DQO (mg O ₂ /L)	150
Turbidez (uT)	1584
pH	8,4
Sólidos Sedimentáveis em Cone Imhoff(mL/L)	210
Sólidos Totais (mg/L)	1855
Sólidos Fixos (mg/L)	1420
Sólidos Voláteis (mg/L)	435
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1606
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	1312

Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	294
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	249
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	108
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	141
Nitrato (mg/L de N)	0,52
Nitrito (mg/L de N)	0,18
Nitrogênio amoniacal (mg/L de N)	0,81
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L de N)	7,56
Fosfato Total (mg/L de P)	0,05
Cloreto (mg/L de Cl)	18
Ferro (mg/L de Fe)	341
Manganês (mg/L de Mn)	3,490
Cobre (mg/L de Cu)	0,100
Zinco (mg/L de Zn)	0,099
Chumbo (mg/L de Pb)	0,226
Cádmio (mg/L de Cd)	< 0,001
Níquel (mg/L de Ni)	0,052
Cromo (mg/L de Cr)	0,179
Cobalto (mg/L de Co)	0,138

4. Tratamento dos rejeitos de ETA

4.1. Aspectos ambientais referentes à disposição dos resíduos das ETAs

Por muito tempo, os resíduos sólidos (lodos) removidos dos decantadores de Estações de Tratamento de Água - ETAs foram lançados, sem tratamento, nos cursos de água, o que ocorreu em vários países do mundo e ainda hoje acontece na maioria das ETAs brasileiras.

A toxicidade potencial dos rejeitos das ETAs para plantas, seres humanos e organismos aquáticos depende de fatores tais como: características da água bruta; produtos químicos utilizados e possíveis contaminantes contidos nesses produtos; reações químicas ocorridas durante o processo; forma de remoção do lodo; tempo de retenção do lodo nos decantadores; características físicas, químicas e biológicas do corpo d'água. As águas naturais utilizadas como mananciais estão sujeitas à contaminação por formas naturais decorrente da ação da água sobre as rochas e também sobre o meio, tais como: aplicação de fertilizantes, pesticidas e disposição de resíduos

sanitários e industriais. Este aspecto é de grande importância, pois esses podem estar presentes nos resíduos gerados, segundo Cordeiro (1993).

O lançamento dos resíduos de ETAs em cursos d'água pode induzir toxicidade aos organismos aquáticos e aumentar a degradação da qualidade das águas e sedimentos destes ambientes pois, além de conterem metais como alumínio, ferro, manganês e outros, apresentam altas concentrações de sólidos, turbidez e demanda química de oxigênio (DQO), fatores estes que podem causar a formação de bancos de lodo, assoreamento, alterações de cor, além de distúrbios na composição química e biológica do corpo receptor, segundo Barbosa et al. (2000).

Nos países desenvolvidos, esse lançamento vem sendo drasticamente reduzido, como resultado de legislações mais rigorosas de controle da poluição, da crescente escassez de recursos hídricos, segundo Bidone et al. (1997), e também por causa do grande desperdício que representa descartar de 2 a 6% do volume de água produzido num ETA, gastos nas atividades de lavagem dos filtros, Grandin (1992) apud Bidone (1997), e descargas dos decantadores.

4.2. Aspectos gerais do tratamento dos resíduos das ETAs

Na Figura 9 é apresentado um fluxograma típico do tratamento dos despejos gerados em ETAs.

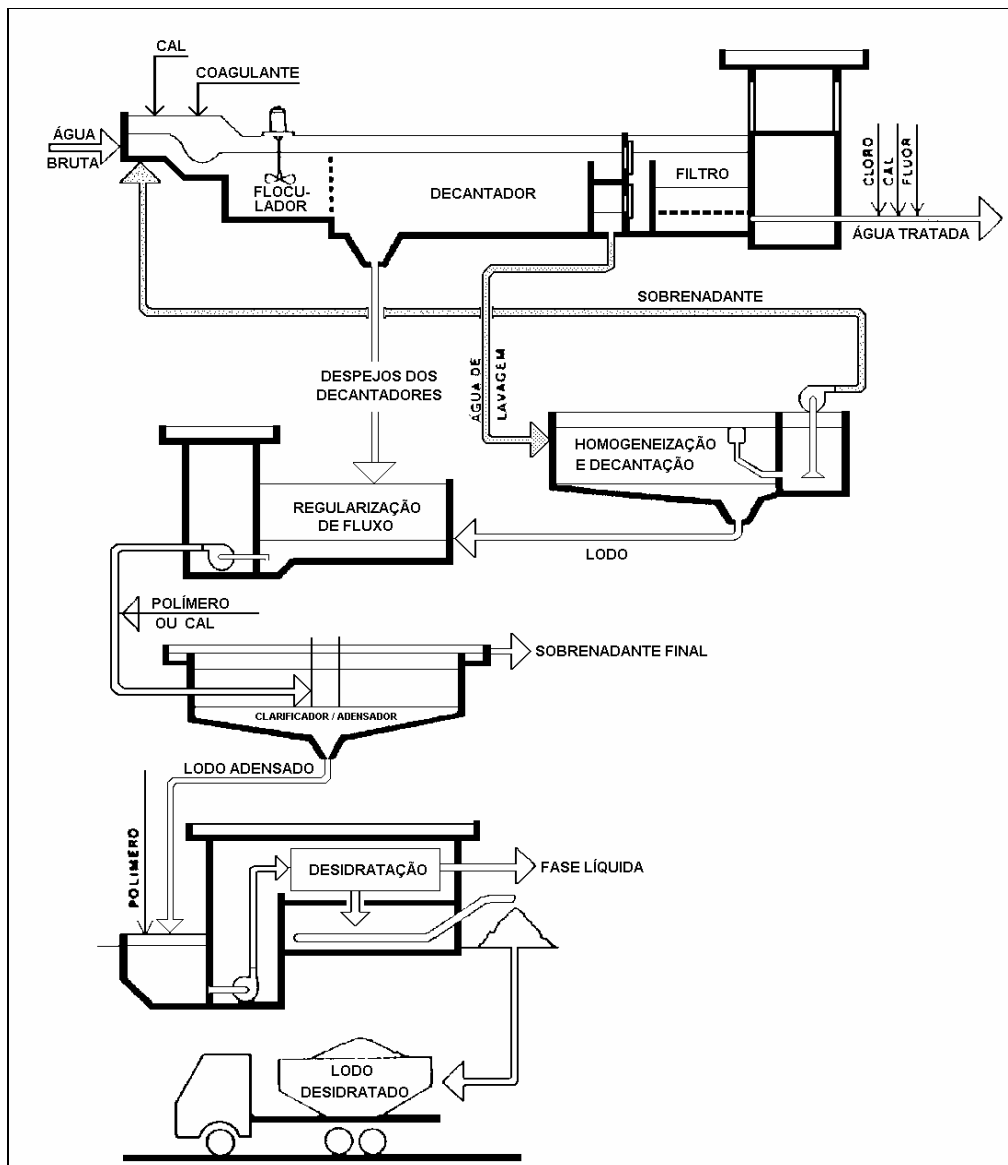


Figura 9 - Fluxograma típico de um sistema de tratamento dos despejos líquidos gerados em ETAs

Fonte: SABESP (1987)

Portela et al. (2003) estudaram as características físicas e químicas do lodo de ETA, com a finalidade de dar destino final correto ao lodo, conhecendo-se a fundo suas propriedades estruturais e químicas.

Com o advento de técnicas e procedimentos para minimizar os custos operacionais, em alguns casos, é preciso estudar o processo de remoção do lodo dos decantadores, para evitar perda direta de água parcialmente tratada; perdas indiretas, como produtos químicos presentes nos flocos sedimentados; energia elétrica utilizada

no bombeamento dessa massa líquida descartada e, perdas de horas trabalhadas pelos operadores da ETA.

Para minimizar impactos ambientais, os lodos produzidos em ETAs devem ser tratados ou dispostos adequadamente. Essa disposição ou aplicação pode ser feita com os lodos em sua forma líquida ou na forma desidratada. No caso da disposição do lodo em sua forma líquida, é necessário implantar-se, nas ETAs, sistemas apropriados para sua equalização e transporte. Em outros casos, dependendo do tipo de uso ou disposição, os custos de transporte e destino final podem compor a maior parcela do custo total do sistema de lodos, sendo necessária a redução de seu volume, conseguida por meio da redução de seu conteúdo de água.

Para efetivar a redução de volume, o lodo deve passar por unidades de tratamento que, classicamente, envolvem os processos de adensamento e desidratação. Frequentemente, o condicionamento químico ou físico do lodo é necessário após o adensamento e antes da desidratação. Às vezes, o processo de adensamento também requer o condicionamento para obter-se um bom resultado. Após a desidratação, os lodos podem, ainda, ser submetidos a outros processos de redução do conteúdo de água, como secagem térmica ou incineração, reduzindo drasticamente seu volume. Porém, os custos de implantação e os gastos com energia elétrica destes métodos complementares costumam ser bastante elevados, restringindo sua aplicação. A Figura 10 apresenta as principais operações envolvidas no processo de tratamento dos resíduos líquidos e sólidos produzidos em ETAs convencionais.

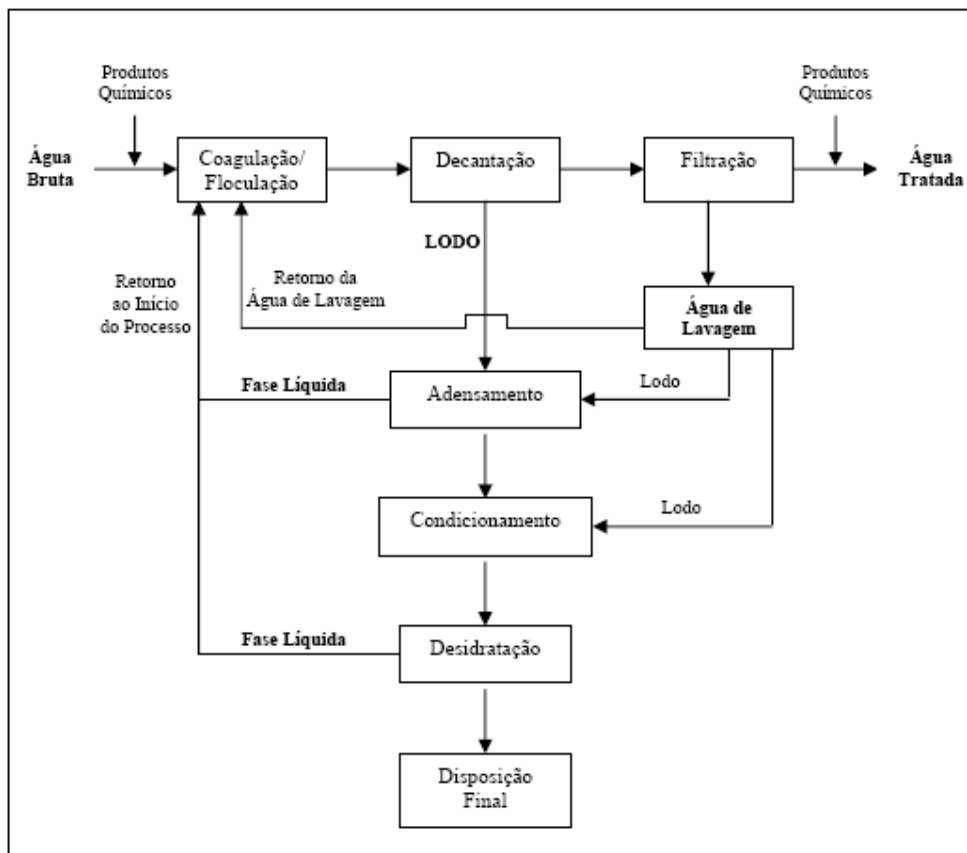


Figura 10: Processos envolvidos no tratamento dos resíduos líquidos e sólidos gerados em ETAS convencionais

A maior parte das ETAs do Brasil não possui qualquer sistema de tratamento de lodos. Para atender às necessidades de disposição de lodos e exigências legais cabíveis, cada caso deve ser analisado em particular, devendo as prestadoras de serviços de saneamento incluir, no plano de gerenciamento de resíduos, investimentos que contemplem a implantação de sistemas adequados de tratamento e disposição.

Em qualquer caso, para a escolha do sistema de tratamento e disposição mais adequados para cada lodo, devem ser analisados os aspectos técnicos, econômicos e ambientais das alternativas possíveis. No caso de existir a necessidade de dispor-se o lodo na forma desidratada, deve ser incluída a seleção do sistema de adensamento e desidratação que depende, primordialmente, das características do lodo a ser desidratado, das condições de armazenamento e das características requeridas para o uso ou disposição final.

4.3. Tipos de tratamento de resíduos de lodo de ETAs

4.3.1. Adensamento do Lodo

O adensamento é, comumente, a primeira operação visando a redução do volume de lodo, antes da desidratação. É uma das operações unitárias mais importantes do processo de tratamento, visto que vários sistemas de desidratação necessitam que o teor de sólidos do lodo não seja muito baixo para poderem funcionar com eficiência.

O adensamento dos lodos gerados nas ETAs pode ser feito por gravidade, flotação com ar dissolvido ou adensadores mecânicos por tela, ASCE (1996).

4.3.2. Desidratação do Lodo

Os processos de desidratação, naturais ou mecânicos, podem gerar lodos com consistências físicas variadas. Na Figura 11 apresentam-se, esquematicamente, os processos de desidratação dos lodos e os meios usuais pelos quais se pode atingir esse objetivo.

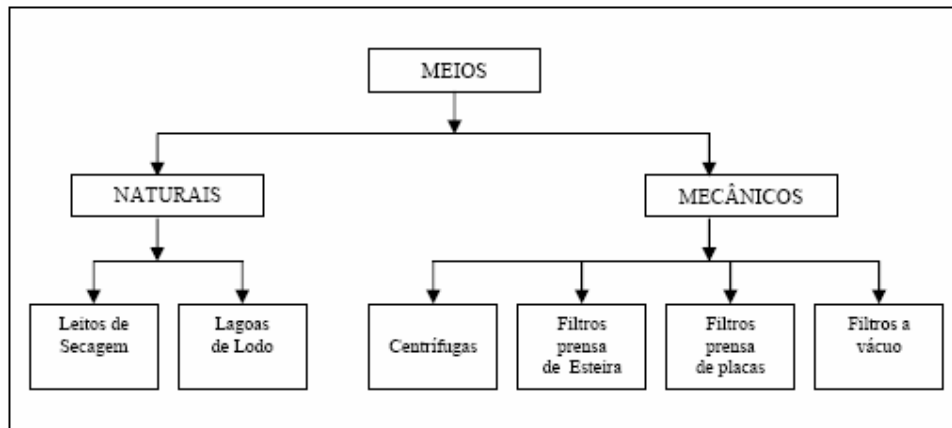


Figura 11: Processos de desidratação de lodos
Fonte: Reali (1999)

Os processos naturais são utilizados, particularmente, em ETAs de pequeno e médio porte, onde haja áreas disponíveis e condições climáticas favoráveis. Os processos naturais incluem as lagoas de lodo e os leitos de secagem, ASCE (1996).

Uma comparação entre os desempenhos dos processos de desidratação dos lodos em termos de concentração de sólidos obtida é mostrada na Tabela 10.

Tabela 10: Comparação entre os processos de desidratação para lodos de ETAs
 Fonte: Cornwell (1987)

Processo	Concentração de Sólidos (%) Efluente do tratamento
Adensamento por gravidade	3 – 4
Centrífuga	20 – 30
Filtro prensa de esteiras	20 – 25
Filtro prensa de placas	35 – 45
Leitos de secagem	20 – 25
Lagoas de lodo	7 - 15

4.3.3. Incineração dos lodos

A incineração pode ser considerada uma alternativa disponível, no entanto, esta possui custos elevados, além de resultar em cinzas, as quais necessitam de disposição final adequada, Reali (1999).

4.4. Tratamento e utilização da água de sobrenadante

Para se fazer a disposição desse resíduo, correta do ponto de vista ambiental e factível em termos econômicos, é necessária a separação água-sólido. Segundo Dharmappa et al. (1997), o tratamento de lodo e disposição final pode ser classificado em seis grandes categorias, as quais são apresentadas no esquema seguinte:

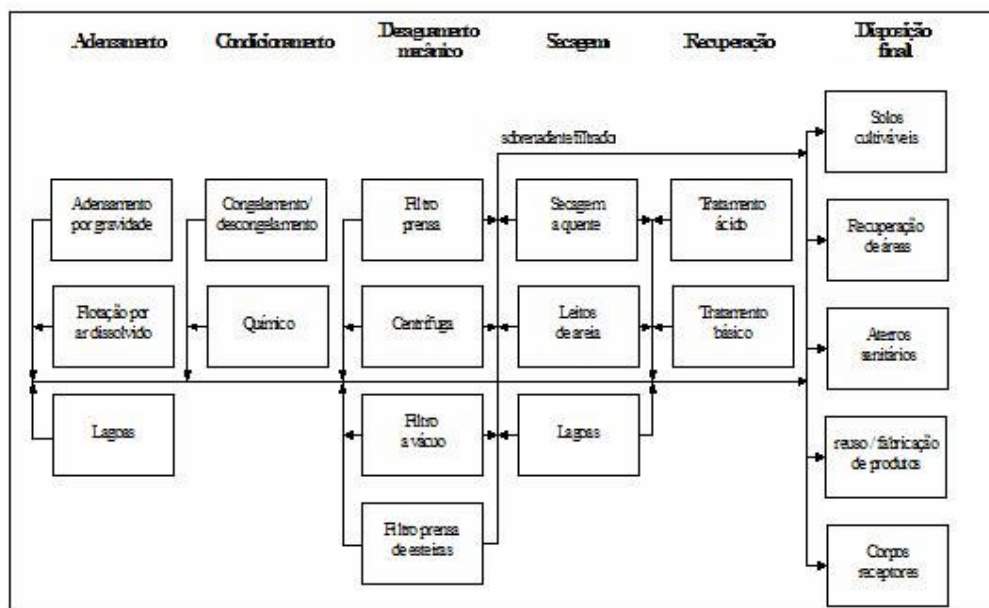


Figura 12: Processos alternativos para o tratamento e disposição de lodo
 Fonte: Dharmappa et al. (1997)

Existe uma série de tecnologias desenvolvidas para o tratamento e utilização do lodo gerado nos decantadores de ETAs convencionais. As mais comuns envolvem o tratamento (composto principalmente pelas etapas de adensamento, condicionamento e desaguamento) e a disposição final em aterros sanitários.

O reuso da água, planejado e controlado, é definido como o uso das águas residuárias renovadas para fins benéficos como a irrigação agrícola e a recarga de aquíferos subterrâneos. Essa alternativa tem sido estudada como alternativa de planejamento ambiental.

O estudo das características das águas a serem reutilizadas ou dispostas é de suma importância, visando obtê-las com características conhecidas e aceitáveis, com a finalidade de evitar possíveis contaminações. Como a água desempenha papel importante na disseminação de doenças, torna-se importante pesquisar a presença de contaminantes nas amostras de sobrenadantes e no sedimento obtidos após clarificação da água de reuso, os quais poderão acarretar contaminação quando dispostos ou reutilizados inadequadamente.

4.4.1. Recuperação e reutilização do coagulante presente no lodo do decantador

A recuperação de sulfato de alumínio de lodos de ETAs é conhecido desde o início do século. Em 1903 foi patenteado um processo de recuperação de sulfato de alumínio utilizando ácido sulfúrico. Apesar de muito antigo, somente em 1950 ocorreram os primeiros trabalhos de pesquisa nos EUA, Inglaterra, Polônia e Japão.

O sulfato de alumínio quando adicionado a água bruta reage com a alcalinidade, formando hidróxido de alumínio. Segundo Cordeiro (1981), para cada 1000 kg de sulfato de alumínio adicionado no tratamento, aproximadamente 453 kg de hidróxido de alumínio é formado, além do material adsorvido para a formação do floco. Portanto, com a recuperação do hidróxido de alumínio, a redução da quantidade de lodo a ser disposto é bem significativa, que segundo a literatura pode chegar até 80% ou valores superiores.

Para a recuperação do sulfato de alumínio presente nos lodos, produzidos na lavagem dos filtros e dos decantadores, estes podem ser encaminhados a um tanque de equalização; a seguir o lodo segue para o tanque de adensamento preliminar onde o sobrenadante, constituído basicamente de água, retorna para a entrada da água bruta. O lodo produzido no adensador é encaminhado para o reator para ser acidulado com ácido

sulfúrico. O produto do reator segue para um decantador secundário (separador) no qual o sobrenadante, constituído basicamente por sulfato de alumínio recuperado, é encaminhado para a câmara de mistura rápida e utilizado na coagulação-floculação.

De acordo com artigo publicado pela Superintendência de Planejamento de Águas e Esgotos e SEREC (1987) - Serviços de Engenharia Consultiva Ltda, são poucas as ETAs no exterior que fazem a recuperação de coagulantes, sendo a recuperação em meio ácido a mais utilizada. Os principais problemas dos processos são a concentração de micropoluentes no coagulante recuperado, e o alto custo operacional, apresentando custos do coagulante recuperado quase igual ou superior ao do coagulante novo.

A princípio, não é parte essencial o adensamento ou espessamento do lodo para a recuperação do sulfato de alumínio, mas poderá reduzir o tamanho e, conseqüentemente, o custo das unidades subseqüentes necessárias a recuperação do sulfato, além de viabilizar a recirculação do sobrenadante (água drenada resultante do espessamento do lodo).

Demattos et al. (2001), obtiveram uma recuperação de 92% de coagulante em ensaios realizados em laboratório, por meio ensaios de acidificação com ácido clorídrico para o lodo da ETA do Sistema Rio Manso, que abastece a região metropolitana de Belo Horizonte.

Em algumas ETAs já existentes, a ampliação do projeto para realizar a recuperação do sulfato de alumínio, muitas vezes é dificultada pelos altos custos envolvidos e/ou pela inexistência de área disponível. Nestes casos, a recirculação da água de lavagem de filtros pode ser uma alternativa viável.

4.4.2. Recirculação da água de lavagem de filtro

A recuperação das águas de lavagem dos filtros pode ser feita de duas maneiras. Uma delas é fazendo-se uma sedimentação prévia na água de lavagem antes de retorná-la ao início do tratamento, caso a água apresente qualidade microbiológica não satisfatória ou a presença de ferro e manganês, o que poderia afetar adversamente o processo de coagulação. Normalmente, é feita num tanque de equalização, onde os sólidos sedimentam e o sobrenadante retorna para a entrada da estação de tratamento. Os sólidos são retirados intermitentemente e enviados junto com os lodos dos

decantadores para tratamento ou disposição. Outra alternativa é reciclar integralmente a água de lavagem para o início do processo de tratamento, sem a necessidade de remoção dos sólidos em suspensão presentes. O tanque de recebimento de água de lavagem passaria a trabalhar apenas como um tanque de equalização. Uma recomendação usual é que o retorno da água de lavagem não ultrapasse o valor de 10% da vazão da água bruta afluente à ETA, de modo a não causar prejuízo no processo de coagulação-floculação, na dosagem de coagulante ou sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento, Ferreira e Sobrinho (1998).

Existem ETAs que recirculam as águas de lavagem dos filtros integralmente com todos os sólidos presentes. No entanto em ETAs que utilizam a tecnologia da filtração direta esta prática não é recomendada pois aumentam a quantidade de sólidos afluente aos filtros, reduzindo as carreiras de filtração. Por outro lado em ETAs de ciclo completo, que tratam água com baixa turbidez, o desempenho da floculação e decantação é melhorado, uma vez que os sólidos recirculados servem como núcleo para crescimento de flocos. No entanto, esta prática nem sempre é aconselhável.

A recirculação pode significar, também, a recirculação de microrganismos e agravamentos dos problemas de odor e sabor e a necessidade de aumento no uso de produtos químicos para desinfecção. Por isso, nos últimos anos, os interesses têm se voltado para um melhor entendimento das características desses resíduos, para que o mesmo possa ser recirculado e/ou disposto de forma adequada. Assim, além das características da água bruta e dos produtos químicos utilizados no processo de tratamento, a qualidade da água da ETA também pode ser influenciada pelo tipo de redução de volume do lodo.

Saron e Silva (1997), realizando ensaios em laboratório, onde simulou a recirculação de água de lavagem de filtro da ETA Guaraú, na proporção de 1,5% do volume da água tratada, obtiveram uma redução de até 10% da dosagem de sulfato de alumínio. Isto representa uma economia significativa uma vez que a produção média da ETA-Guaraú é de 33,5 m³/s de água tratada. Relata também que, em escala real, os resultados obtidos foram semelhantes aos obtidos em laboratório.

Segundo Grandin (1992), pode-se realizar a recirculação integral das águas de lavagem dos filtros com todos os sólidos para junto da entrada da água bruta. Para isso, é necessário um sistema de bombeamento que promova a recirculação e a construção de um tanque de regularização para possibilitar a recirculação de maneira mais uniforme na

entrada da ETA e, em alguns casos, operar como um decantador. Um outro ponto que deve ser ressaltado é a existência de linhas de descargas independentes para o lodo do decantador, muito mais concentrado, e da água de lavagem dos filtros.

Cornwell e Lee (1994) relatam que recircular o resíduo líquido pode potencializar a ocorrência de distúrbios no tratamento e afetar a qualidade final da água. Os autores mostram como exemplos de constituintes indesejáveis, os cistos de *Giardia sp*, oocistos de *Cryptosporidium sp* e, além de metais como ferro e manganês, carbono orgânico total, precursores de trihalometanos, gosto e odor. Relatam ainda que os problemas com *Giardia* ou *Cryptosporidium* e manganês podem ser resolvidos ou minimizados respectivamente com a decantação da água a ser recirculada e evitando o acúmulo de lodo nos decantadores, que podem levar a condições anaeróbias que propiciem a dissolução do manganês na água a ser recirculada. No caso da presença de trihalometanos a recirculação deve ser evitada ou um tratamento mais sofisticado deve ser estudado.

Scalize (1997) relata que os protozoários são constituintes dos resíduos e vêm despertando interesse, pois estão presentes nos sobrenadantes e sedimentos, obtidos após clarificação em coluna de sedimentação com ou sem a utilização de condicionante. Em seu trabalho, realizou apenas pesquisa qualitativa encontrando cisto de *Entamoeba coli*, larvas de *Strongiloides sp* e *Acylostomidae* além de ovos de *Hymenolepis sp* e *Acylostomidae*.

Este trabalho realizado por Scalize (1997) teve por objetivo avaliar a possibilidade de recirculação da água de lavagem dos filtros da ETA – São Carlos. O autor concluiu ser necessário o conhecimento generalizado da água de reuso e, sobretudo mostrava-se importante a realização de estudos futuros para verificar se a recirculação do sobrenadante pode causar efeito cumulativo de contaminantes na qualidade do afluente e prejudicar a coagulação e a filtração.

Em alguns casos de recirculação são relatados problemas decorrentes, provavelmente, da quebra dos flocos durante o processo de lavagem e recirculação, sendo notado um aumento da quantidade de materiais inertes, DQO, DBO, e substâncias causadoras de gosto e odor, Grandin (1992).

Segundo Ferreira (1997), as ETAs do Guaraú e Alto da Boa Vista, ambas responsáveis pelo abastecimento de água de parte da Região Metropolitana da Grande

São Paulo realizam, com sucesso, o reaproveitamento de 100% de suas água de lavagem de filtros.

Barbosa (1997) relata o aproveitamento da água de lavagem de filtro da ETA - Rio Descoberto, em Brasília - DF, após sua clarificação em adensadores e na desidratação do lodo adensado em decantadores centrífugos, mostrando que o retorno do sobrenadante à ETA não compromete seu desempenho, desde que sejam realizadas algumas manobras operacionais periódicas.

5. Formas de redução de lodos gerados em ETAs

5.1. Otimização das dosagens dos coagulantes

Para otimizar as dosagens de coagulantes, é necessário conhecer as características da água bruta e fazer ensaios em laboratório (*jar test*), de modo a simular condições ideais de coagulação e floculação, ajustando as dosagens dos produtos de tratamento.

A utilização de um coagulante com maior eficiência, leva a uma diminuição da quantidade necessária do mesmo e, conseqüentemente, um menor volume de lodo gerado. Portanto, deve-se considerar a qualidade (quantidade de impurezas) do coagulante utilizado, verificando-se os vários fornecedores deste produto, pois um coagulante de pior qualidade exige, necessariamente, maiores dosagens.

Segundo os testes realizados por James e Omelia (1982), a utilização conjunta de sulfato de alumínio seguido de polímero, colocado após um minuto de agitação da adição do $Al_2(SO_4)_3$, promoveu boa remoção da turbidez e do carbono orgânico total (COT) com redução na produção de lodo de 50 a 75%, dependendo da proporção sulfato de alumínio/polímero.

A utilização do lodo formado nos decantadores das ETAs, como auxiliar de floculação, para águas de baixa turbidez, é outra alternativa para a redução do lodo gerado, pois além de reutilizá-lo, diminui a quantidade de coagulante necessária para a floculação. Com base nos resultados obtidos por Cordeiro (1981), nos testes de sedimentabilidade em águas de baixa turbidez, utilizando-se como auxiliar de

coagulação o lodo dos decantadores, observou-se uma redução de até 60% das dosagens ótimas de sulfato de alumínio e cal.

O controle rígido da dosagem ótima a ser aplicada, através da utilização de equipamentos precisos e compatíveis com a necessidade local, aliado a um treinamento das pessoas envolvidas na parte operacional e na parte gerencial, contribui muito para a redução do lodo gerado nas ETAs.

A automação das ETAs é uma tecnologia que favorece a diminuição dos produtos químicos utilizados, acarretando menor geração do volume de lodo.

5.2. Utilização de *by-pass* para filtração direta

As características da água bruta variam em função das estações do ano. Nesse sentido, em ETAs com tratamento completo pode-se avaliar a viabilidade da construção de *by-pass*, resumindo o tratamento da água bruta à coagulação seguida de filtração, em determinadas épocas do ano quando suas características permitirem tal simplificação. Neste caso, a quantidade de coagulante utilizada seria bem menor pois não haveria a necessidade de formação de grandes flocos sedimentáveis, e sim microflocos que seriam retidos nos filtros.

6. Outras alternativas de tratamento e disposição de lodos e reuso da fase líquida de despejos de ETAs

Existem atualmente várias maneiras para tratamento dos despejos gerados em ETAs, sendo extremamente importante encontrar métodos alternativos para o tratamento e disposição dos lodos visando a proteção do meio ambiente. Em cada ETA, o método de tratamento dos despejos e a forma empregada para disposição do lodo devem ser escolhidos de forma adequada, levando-se em conta os seguintes aspectos: quantidade e características dos despejos; disponibilidade de área e características dos mananciais próximos às ETAs e custos envolvidos nas possíveis soluções. Como as características dos despejos variam muito em ETAs diferentes, os resultados obtidos para um determinado despejo não poderão ser utilizados para outros.

A seguir, apresentam-se algumas alternativas de tratamento e disposição para os despejos de ETAs.

6.1. Lançamento direto em águas superficiais

A prática comumente usada tem sido o lançamento direto dos despejos gerados em estações de tratamento de águas, em cursos d'água mais próximos. Este método de disposição é o mais econômico, mas poderá acarretar grandes problemas quanto ao grau de poluição. Quando descarregados em rios com baixa velocidade, podem formar bancos de lodos e, ocasionalmente, causar odores desagradáveis. Este método possui muitas restrições, podendo ser viável em alguns casos particulares, onde a carga poluidora tem condições de ser absorvida pelo corpo receptor ou em cursos d'água não destinados ao abastecimento público ou a qualquer tipo de uso nobre.

Reh (1980), diz que a descarga pode ser direta ou indireta (redes de esgotos), sendo que podem ser feitas em pequenos lagos, lagoas ou oceanos.

6.2. Lançamentos em lagoas

As lagoas para disposição de lodos podem ser em depressões naturais ou artificiais, Reh (1980), construídas com diques ou escavações em terra.

Mesmo não sendo um dos processos mais eficientes de adensamento, desidratação e/ou disposição final, o lançamento em lagoas, continua sendo utilizado com esta finalidade, sendo o meio de tratamento mais popular principalmente nos casos onde se tem disposição de área para sua implantação, pois trata-se de processo que apresenta baixos custos de implantação, operação e manutenção, que são relativamente simples, quando comparados com outros processos. Este método torna-se viável para locais com áreas de baixo custo e próximas às ETAs, com condições topográficas e geofísicas adequadas, Cordeiro (1993).

Neste processo, o adensamento se dá por gravidade e a desidratação por perda de água através da infiltração no solo e, principalmente, por evaporação e transpiração. O sobrenadante deve ser constantemente retirado e, quando a lagoa estiver completamente preenchida pelo material sólido, poderá ser abandonada, transformando-se em forma de disposição final, ou então o lodo ser removido e, levado para outro destino, transformando-se as lagoas em um processo contínuo de adensamento e desidratação.

Algumas desvantagens podem ser: a possibilidade de contaminação do lençol freático, com a água drenada para o subsolo principalmente por metais pesados, e também pela possibilidade de formação de crostas na superfície, que impedem a desidratação das camadas inferiores, a qual poderia prolongar-se por anos. Outros

problemas podem ser verificados com relação à proliferação demasiada de insetos. As lagoas são também um atrativo para crianças em áreas habitadas devendo, portanto ser considerado como custo adicional a implantação para a construção de cercas e muros.

6.3. Disposição no solo

É pouco divulgado o método de disposição de despejos de ETAs no solo, e os resultados que se dispõem não permitem avaliações mais profundas, Cordeiro (1993). Neste caso nem todo tipo de despejo poderia ser utilizado, devido seus constituintes que podem ser prejudiciais ao invés de benéficos.

O sobrenadante proveniente dos demais métodos pode ser utilizado para a fertirrigação, mas neste caso deverão ser feitos estudos dos possíveis contaminantes que possam estar presentes, para a definição das doses de aplicação no solo.

Lodos provenientes do tratamento com coagulantes metálicos possuem a capacidade de colmatar o solo, impedindo a infiltração. Existem estudos que mostram a porcentagem adequada para uma disposição dos despejos sem que ocorra este tipo de problema. Apesar de ser um método muito econômico, limitações devem ser feitas com relação à concentração de certos metais e a possível contaminação que podem causar. Portanto, deve-se fazer um controle rigoroso da poluição.

Segundo Grabarek e Krug (1987), a disposição dos despejos de ETAs no solo não apresenta inconvenientes tanto no crescimento das plantas quanto na questão de lixiviação de alumínio, podendo esta prática tornar-se viável e de baixo custo.

Elliott (1990) concluiu que os despejos das ETAs têm comportamento idêntico a de solo de fina textura e que o efeito mais sério desta aplicação é a redução da capacidade das plantas em utilizar fósforo, devendo-se portanto aplicar quantidades moderadas de fertilizantes à base de fósforo, para a recuperação da fertilidade da área.

6.4. Lançamentos na rede de esgotos

Nesta prática, os despejos seriam lançados na rede coletora de esgotos sanitários, sendo desta forma, tratados, desidratados e dispostos juntamente com os esgotos.

De uma maneira ampla, esta prática não resolve o problema, apenas transfere-o, podendo acarretar problemas nos sistemas de tratamento das ETEs. Os despejos

provenientes da lavagem dos filtros são produzidos com taxas de escoamento muito elevadas, em curtos períodos de tempo, implicando, na maioria das vezes, na necessidade de equalização do efluente antes de seu lançamento na rede coletora de esgotos sanitários.

A maior parte dos resíduos produzidos pelas ETAs, devido as suas características, será removido pelos decantadores primários das ETEs e, conseqüentemente encaminhados aos digestores de lodo, anaeróbio ou aeróbio. Portanto, os resíduos de ETAs podem causar interferências no desempenho destas unidades em razão da sua toxicidade nos digestores de lodo, seja pelo aumento ou diminuição dos valores de diversos parâmetros, tais como turbidez, cor, SST e DQO no efluente final.

6.5. Disposição em leito de secagem

Os leitos de secagem são tanques rasos, com duas ou três camadas de areia, com tamanho efetivo de 0,3 a 0,5mm e coeficiente de não uniformidade menor que 5,0, apresentado cerca de 30 cm de espessura. Sendo também constituído por uma camada suporte de britas de 1/8”a 1/4” com espessura de 0,15 a 0,30 m e, um sistema drenante que é constituído por tubos de 150 a 200 mm de diâmetro. O fundo geralmente é o próprio solo, Cordeiro (1993).

Os despejos são geralmente dispostos em camadas de 20 a 30 cm, dependendo da maior ou menor resistência específica do lodo. Caso deseje-se profundidades de até 60 cm, são utilizados adensadores antecedendo os leitos. Com o adensamento é possível obter-se lodos mais concentrados e, em conseqüência, menores áreas para a secagem.

Este sistema é afetado por diversos parâmetros, tais como: temperatura, umidade do ar, viscosidade do lodo, ventilação, etc. A remoção do lodo se dá manualmente ou mecanicamente, após ocorrer a sua secagem.

Esta técnica leva vantagem no seu custo inicial, pequena necessidade de operação, baixo consumo de energia, pouca ou nenhuma necessidade de condicionamento químico, alta concentração de sólidos na torta. Sua desvantagem está na necessidade de maior área em relação a equipamentos mecânicos, necessidade de conhecimentos sobre dados climatológicos e trabalho intensivo para remoção do lodo, Cordeiro (1993).

6.6. Disposição em aterros sanitários

Atualmente, uma das principais formas de disposição dos lodos é o seu envio para aterros sanitários. A princípio, é a solução mais simples e direta para a disposição adequada dos lodos, de modo a não causar impactos negativos ao meio ambiente.

O método do aterro utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de solo natural a intervalos regulares de tempo, conforme necessário, de modo planejado e com controle técnico dos aspectos sanitários e ambientais, minimizando-se os impactos negativos ao meio ambiente. Os aterros produzem líquidos percolados devido ao excesso de água nos próprios resíduos ou à infiltração da água da chuva, devendo ser feita a drenagem adequada destes líquidos para evitar a contaminação, por metais pesados ou contaminantes orgânicos, tanto nas águas superficiais como subterrâneas. Durante seu funcionamento, o aterro deve ter um programa de monitoramento ambiental que deve prosseguir após o encerramento de sua vida útil. A área, após o encerramento das atividades, pode ser utilizada para várias finalidades, tal como parques, áreas de lazer ou praças de esporte, não sendo adequada, contudo, a receber estruturas pesadas.

Um exemplo de disposição em aterros sanitários é o trabalho desenvolvido pela COPASA – Belo Horizonte, onde, na Estação de Tratamento de Água denominada Rio Manso, realiza o processo de raspagem contínua do lodo no fundo dos decantadores, em direção a um adensador, o qual também recebe as águas de lavagem dos filtros. Em seguida, os resíduos são encaminhados para leitos de secagem e, finalmente, para o aterro sanitário municipal. A Figura 13 mostra o esquema geral do tratamento realizado pela Copasa – Belo Horizonte.

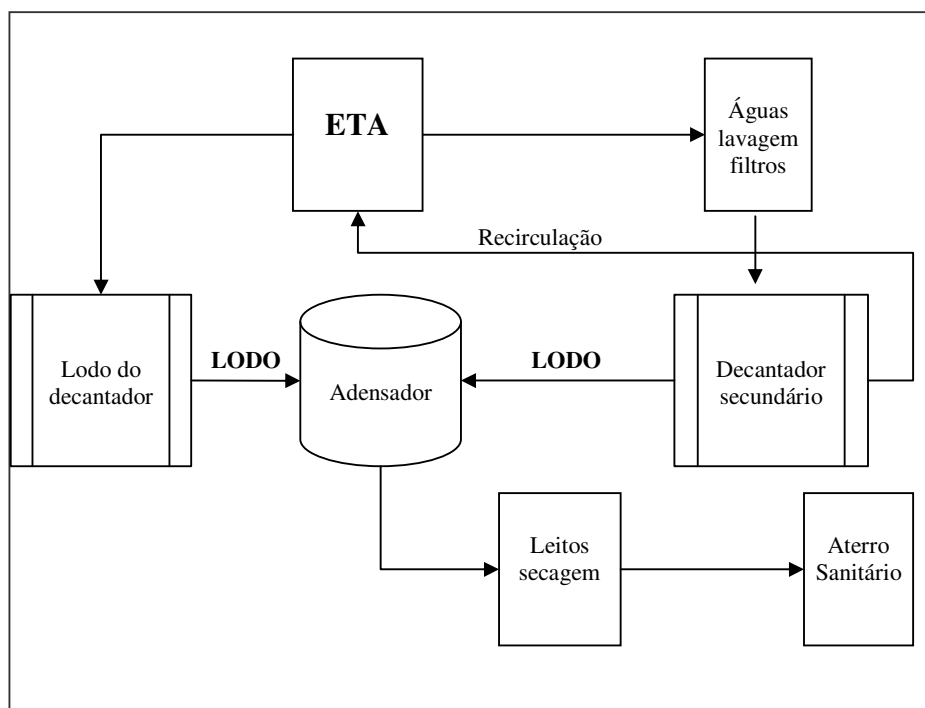


Figura 13: Modelo esquemático de tratamento do lodo de ETA utilizado pela COPASA -MG

6.7. Disposição em solos agrícolas

Algumas pesquisas sobre aplicação de lodos de ETAs na agricultura demonstraram ausência de impactos negativos ou impactos positivos no crescimento das culturas, Cornwell et al. (1999). Alguns dos benefícios associados à adição de lodos a solos agrícolas relatados nas experiências incluem:

- Melhoria estrutural do solo;
- Ajuste de pH, quando os lodos continham significativa concentração de cal devido a ajustes de pH no tratamento da água ou devido à adição de cal na desidratação mecânica;
- Aumento da capacidade de retenção de água;
- Melhoria nas condições de aeração do solo.

Entretanto, segundo Dayton e Basta (2001), embora o uso dos lodos melhore o solo, aumentando sua capacidade de reter água e sua estrutura física, por outro lado causa deficiência de fósforo, diminuindo a produtividade de algumas culturas. Dessa maneira, os lodos devem ser adicionados ao solo em quantidades controladas. Elliot et al. (1990) comentam que, com a diminuição do fósforo disponível no solo, deve ser

aplicado fertilizante para obter maior produtividade nas culturas, sendo que as taxas de aplicação de fertilizantes seriam menores que as usualmente utilizadas na agricultura.

A utilização dos lodos pode ser na forma líquida ou desidratada. Desse modo, o lodo pode ser aplicado com qualquer teor de sólidos que seja economicamente factível para a estação de tratamento e aceitável pelo agricultor. O teor de sólidos requerido é definido por vários fatores, entre eles as distâncias existentes até o local de aplicação, as instalações para armazenamento necessárias, o valor do lodo e a preferência do produtor agrícola. Normalmente, considera-se líquido o lodo com teor de sólidos de 0,5 a 10%, e desidratado o lodo com teor de sólidos maior que 15%, segundo Cornwell et al. (1999).

6.8. Utilização de manta geotêxtil

Dentre as alternativas de tratamento e disposição de lodo gerado em ETAs, uma alternativa nova se destaca tendo-se em vista o baixo requisito de área e custos de implantação e manutenção. A tecnologia consiste no envio e armazenamento do lodo gerado nos decantadores em unidades, dispostas na própria área da ETA, de geotêxtil de polipropileno de alta resistência que exerce simultaneamente as funções de contenção (retenção) da massa de sólidos e de drenagem dos líquidos presentes no lodo. Esta tecnologia vem sendo testada/implantada em algumas ETAs da SABESP a partir de 2003, todavia, sua até então grande aplicação, era em estações de tratamento de esgotos. Com a crescente exigência dos órgãos ambientais acerca da disposição dos resíduos das ETAs, esta alternativa tem-se tornado satisfatória e eficiente em curtos prazos.

O excesso de água decorrente do processo é drenado através dos pequenos poros do geotêxtil, resultando numa desidratação efetiva e uma redução do volume de água. Esta redução de volume permite que cada unidade do tratamento do lodo possa ser preenchida por enchimentos sucessivos, até que o volume disponível seja quase inteiramente ocupado pela fração sólida existente no rejeito. O efluente drenado pelas unidades retorna ao início do tratamento.

Ao final do ciclo de enchimento e desidratação, o material sólido retido continua a sofrer um processo de consolidação, por desidratação e evaporação da água residual, através do geotêxtil, que constitui as paredes da unidade de tratamento.

O processo apresenta como principais vantagens a retenção efetiva da fração sólida do rejeito associada a uma eficiente filtragem dos líquidos efluentes. O sistema

apresenta, na maior parte das situações, competitividade econômica, tendo em vista os prazos reduzidos envolvidos e a eliminação de obras de infra-estrutura complexas.

Essa tecnologia atende aos objetivos:

- Eficiência na contenção e desidratação da massa sólida contida no rejeito;
- Garantia da qualidade do efluente drenado pelas unidades de tratamento, com a eliminação e/ou minimização de tratamentos adicionais;
- Recuperação da água presente no rejeito;
- Garantia da eficiência do tratamento;
- Melhoria da qualidade ambiental da água do corpo d'água receptor dos rejeitos da ETA.

As Figuras 14, 15, 16 e 17 mostram a implantação e funcionamento de uma unidade de geotêxtil utilizada na ETA de Santo Antônio do Jardim – São Paulo pela SABESP. É possível perceber o baixo requisito de área necessária à implantação da unidade de tratamento.



Figura 14: Implantação de uma unidade de geotêxtil na ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo



Figura 15: Unidade de geotêxtil com o lodo da ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo



Figura 16: Tanque de equalização ligado à unidade de geotêxtil na ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo



Figura 17: Aspecto do efluente da unidade de geotêxtil comparado ao afluente da unidade de tratamento da ETA de Santo Antônio do Jardim, São Paulo

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1. Generalidades

O foco deste estudo são os despejos gerados pela Estação de Tratamento de Água da cidade de Itabirito, Minas Gerais, operada pelo Serviço Municipal de Água e Esgotos (SAAE) desta cidade.

Com o objetivo de reunir subsídios para proporcionar uma visão geral das alternativas possíveis de uso e disposição dos lodos gerados na ETA de Itabirito, avaliar suas características e fornecer informações para um pré-direcionamento da disposição final destes lodos, adotou-se a seguinte metodologia, com as etapas a saber:

- Levantamento das características físicas e operacionais da ETA, com descrição dos processos e produtos químicos utilizados no tratamento;
- Análise das características da água bruta ao longo do período de 1 ano, e sua implicação na variação do consumo de produtos químicos e, conseqüentemente, nas quantidades de lodo geradas, com dados fornecidos pela área operacional da ETA (2005-2006);
- Quantificação do lodo gerado na ETA: teoricamente, através de fórmulas empíricas; e por dados práticos, através do levantamento de informações e medições realizadas em campo;
- Caracterização dos lodos, por meio de análises químicas;
- Levantamento das alternativas para o tratamento e disposição dos resíduos gerados pela ETA-Itabirito.

7.2. Introdução

Atualmente, o Abastecimento de Água, operado pelo SAAE de Itabirito-MG, é constituído por dois Sistemas de Captação (Sistema Córrego Seco e Sistema Córrego do Bação) e dispõe de uma única Estação de Tratamento de Água que possui uma capacidade de produção de 120 L/s. Estes dois Sistemas Produtores encontram-se interligados por um sistema de adutoras e elevatórias. Os dois Sistemas se unem à entrada da ETA, conforme mostra a Figura 18.



Figura 18: Calha Parshall da ETA-Itabirito

As bacias do ribeirão da Carioca, córrego do Bação e do córrego da Carioca, inserem-se nos limites do município de Itabirito, situado a 56 km sudeste de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, entre as coordenadas de 20° 18' e 19° 53' de latitude sul e 43° 47' e 43° 54' de longitude oeste (Figura 20). Esses córregos fazem parte da bacia do rio Itabirito, um dos principais afluentes do rio das Velhas. As sub-bacias do córrego do Bação e do córrego Seco são utilizadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE do município de Itabirito, como área de coleta de água para abastecimento da sede municipal que possui, aproximadamente, 35000 habitantes.

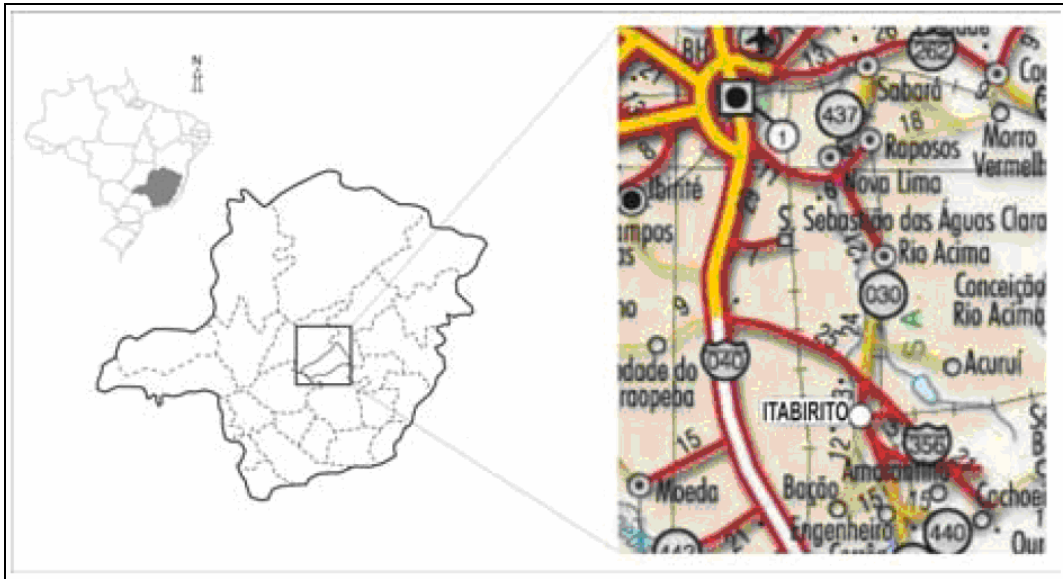


Figura 19: Localização do município de Itabirito – Minas Gerais

A ETA de Itabirito é uma estação do tipo convencional, composta pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. As principais unidades constituintes da estação são:

- 1) Estrutura de chegada de água bruta
- 2) Mistura rápida
- 4) Canal de água coagulada
- 5) Floculadores
- 6) Decantadores
- 7) Canais de água decantada
- 8) Filtros
- 9) Canal de água filtrada
- 10) Tanque de contato (onde ocorre a cloração e fluoretação)
- 11) Reservatório de água tratada
- 12) Estação elevatória de água
- 13) Casa de química

A dispersão dos coagulantes é hidráulica, utilizando-se da energia dissipada à da calha Parshall. A distribuição do coagulante é feita por meio uma bomba dosadora sobre

a lâmina de água vertente. O sulfato de alumínio é o coagulante utilizado pela estação. A cal é o produto utilizado para a correção do pH.

Os floculadores são hidráulicos e estão distribuídos em uma bateria de nove câmaras com gradientes de velocidade decrescentes segundo o sentido de fluxo. A variação do gradiente de velocidade desses agitadores se dá pelas diferentes posições de “janelas” existentes em cada câmara de floculação.

A ETA-Itabirito possui dois decantadores que se encontram alinhados e contínuos aos floculadores. São tanques do tipo convencional, retangulares em planta, com fluxo predominantemente horizontal, com volume total de 371 m³. Cada decantador possui 2 calhas de coleta de água decantada que se interligam com o canal de água decantada.

A drenagem de cada decantador é efetuada por meio de comporta de fundo de acionamento manual. A remoção do lodo é feita manualmente por ocasião da drenagem e lavagem dos decantadores, e o lodo depositado no fundo é conduzido por gravidade através de um emissário com ponto de descarga final no canal do córrego da Carioca.

A ETA-Itabirito possui dois filtros rápidos de dupla camada de antracito e areia, do tipo taxa declinante, lavados unicamente com água no sentido ascensional (retrolavagem). A filtração descendente é a tecnologia de filtração empregada, com um volume estimado de 80 m³ de água para lavagem de cada filtro da estação. As lavagens são realizadas diariamente, alternadamente em cada filtro. Todo o volume utilizado na lavagem dos filtros é encaminhado ao córrego da Carioca, sem prévio tratamento. A água utilizada para as lavagens dos filtros é armazenada em um reservatório (Figura 21) que se encontra em uma cota superior, sendo a lavagem realizada sem a necessidade de utilização de bombas.



Figura 20: Reservatório de armazenamento de água para lavagem dos filtros da ETA-Itabirito

Foram realizados os levantamentos de dados operacionais e de qualidade de água da ETA, como também os estudos de caracterização e quantificação dos resíduos gerados pela estação.

7.3. Dados operacionais e de qualidade de água da ETA de Itabirito

O levantamento dos dados relativos ao funcionamento da ETA-Itabirito foi realizado através da análise dos relatórios dos registros operacionais, de onde ficou conhecido o volume de água produzido pela ETA, além do volume de água utilizada nas lavagens dos filtros, essencialmente importantes para a estimativa do volume final de resíduo gerado pela estação.

7.4. Obtenção e caracterização do lodo do decantador

Os resíduos estudados foram provenientes da lavagem dos filtros e da descarga dos decantadores da Estação de Tratamento de Água de Itabirito, que utiliza como coagulante primário o sulfato de alumínio. Estes resíduos são lançados diretamente no córrego da Carioca, o qual à montante serve como um dos mananciais de abastecimento da ETA.

A Figura 19 mostra o esquema geral de estudos.

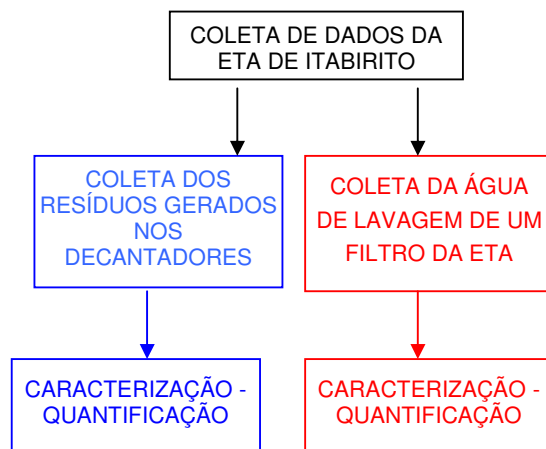


Figura 21: Esquema de estudo dos resíduos da ETA de Itabirito-MG

Foram coletadas amostras de lodo retiradas, momentos antes da lavagem dos decantadores, nas regiões mostradas na Figuras 22, 23, 24, 25 e 26. A Figura 22 mostra a região central do decantador. Estas amostras foram caracterizadas segundo os parâmetros contidos na Tabela 11.



Figura 22: Região 1 - Centro do decantador (adufa de fundo) – Ponto de descarga



Figura 23: Regiões 2 e 3, pontos de coleta de lodo no decantador



Figura 24: Regiões 4 e 5, pontos de coleta de lodo no decantador



Figura 25: Coleta do lodo do decantador da ETA-Itabirito (1)



Figura 26: Coleta do lodo do decantador da ETA-Itabirito (2)

A pesquisa de metais seguiu a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” publicado pela APHA (1998), sendo que as amostras foram digeridas por via úmida com ácido nítrico e clorídrico e as leituras foram realizadas pelo método Absorção Atômica por chama de ar acetileno e Espectrômetro de Emissão Óptica Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), marca SPECTRO / modelo Ciros CCD.

Tabela 11: Elementos analisados nas amostras de lodo do decantador da ETA-Itabirito

Parâmetro	Unidade (amostra seca)
Ni	mg/kg
Al	mg/kg
As	mg/kg
Ba	mg/kg
Bi	mg/kg
Ca	mg/kg
Cd	mg/kg
Co	mg/kg
Cr	mg/kg
Cu	mg/kg
Fe	mg/kg
Mg	mg/kg
Mn	mg/kg
Ni	mg/kg
P	mg/kg
Pb	mg/kg
Sb	mg/kg
Sr	mg/kg
Ti	mg/kg
Zn	mg/kg

7.5. Ensaios para a classificação de resíduos sólidos

Para a realização dos ensaios de classificação de resíduos sólidos, as amostras de lodo foram desidratadas em estufa a 40° C, e o material seco peneirado em malha de 2,0 mm de abertura.

A classificação dos lodos da ETA foi realizada de acordo com a Norma Técnica NBR 10004 "Resíduos sólidos – Classificação" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a), vinculada a 3 outras Normas: NBR 10007 "Amostragem de resíduos – Procedimentos" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004d); NBR 10005 "Lixiviação de resíduos – Procedimento" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004b), e NBR 10006 "Solubilização de resíduos – Procedimento" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004c).

Deste modo, a partir dos critérios e ensaios preconizados, os resíduos sólidos podem ser classificados e enquadrados nas seguintes categorias: Classe I - Resíduos perigosos e Classe II - Resíduos não perigosos, categoria subdividida em: Classe IIA - Não Inertes e Classe IIB - Inertes.

7.6. Classificação dos resíduos conforme sua periculosidade, segundo a Norma NBR 10004/2004

A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação da sua origem são partes integrantes dos laudos de classificação, onde a descrição de matérias-primas, de insumos e do processo no qual o resíduo foi gerado devem ser explicitados.

Os resíduos, cujas características não podem ser prontamente avaliadas, devem ser analisados mais criteriosamente, conforme os ensaios descritos a seguir:

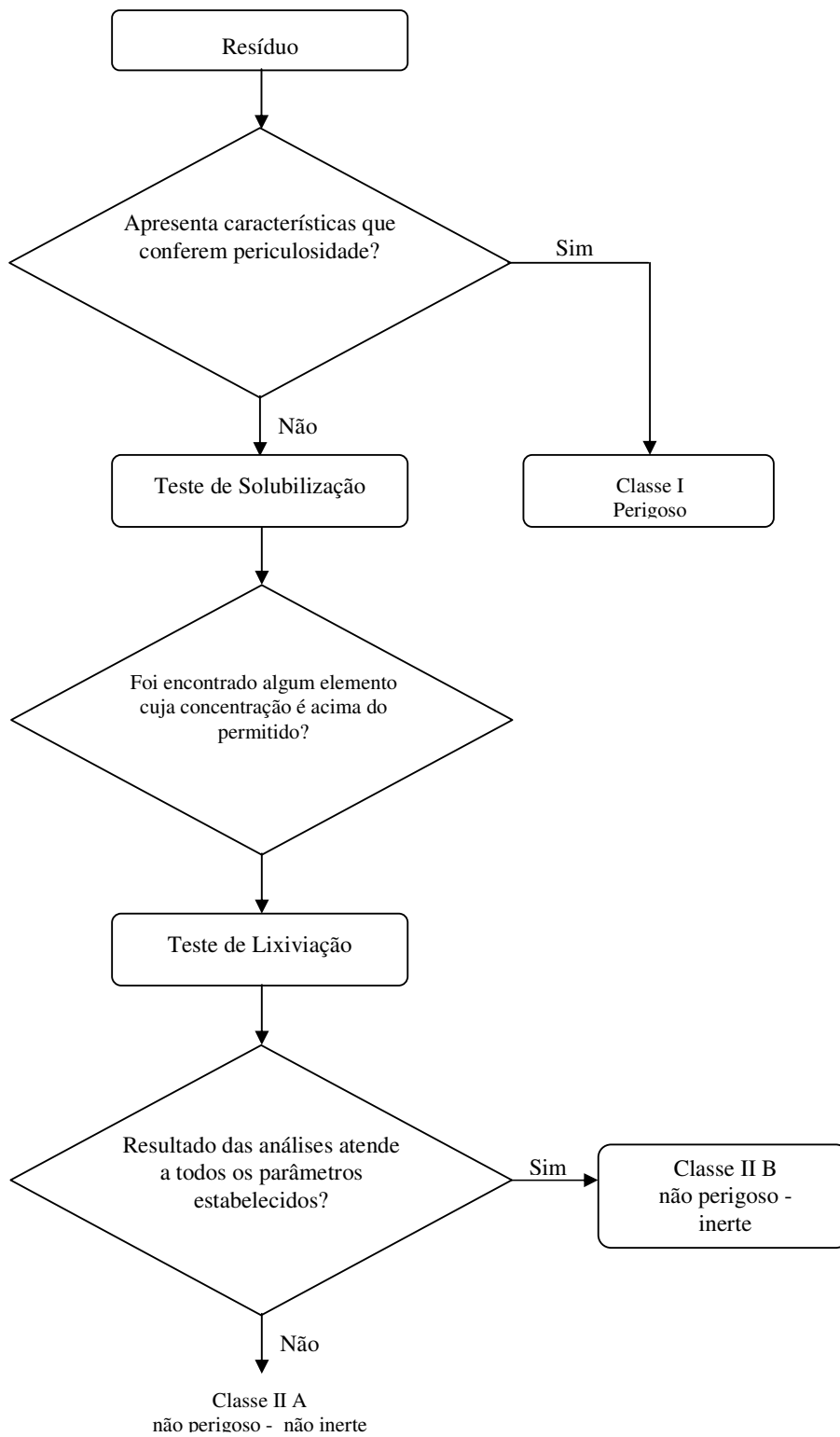


Figura 27: Caracterização e classificação de resíduos sólidos

7.7. Quantificação do lodo gerado nos decantadores da ETA

Nesta etapa foram utilizadas as fórmulas empíricas para a estimativa da massa de lodo gerado nos decantadores da ETA-Itabirito, como também a medição, in loco, dos parâmetros (teor de sólidos totais, dimensões do decantador, altura da camada de lodo) necessários aos cálculos da massa de lodo retida nos decantadores durante os meses de julho de 2005 a junho de 2006.

7.8. Análise das características estéticas do córrego da Carioca durante a lavagem de um dos decantadores da ETA-Itabirito

Durante a lavagem de um dos decantadores da ETA-Itabirito foi feita uma seqüência de fotografias, as quais mostram o impacto visual causado pelo lançamento dos resíduos no córrego da Carioca, na cidade de Itabirito – Minas Gerais.

8. Estudo da variação do teor de sólidos totais ao longo da lavagem e em função da localização no decantador

Realizou-se a medição do teor de sólidos totais durante o processo de lavagem de um dos decantadores da ETA-Itabirito, com coletas de amostras de lodo em vários pontos do decantador. Estas análises são de extrema valia, pois trabalha os aspectos relevantes para o pré-dimensionamento de unidades de tratamento de resíduos de ETAs.

Os pontos de coleta das amostras foram escolhidos em função da declividade do decantador e facilidade de acesso. A Figura 29 (figura esquemática) mostra os pontos em função da localização no decantador.

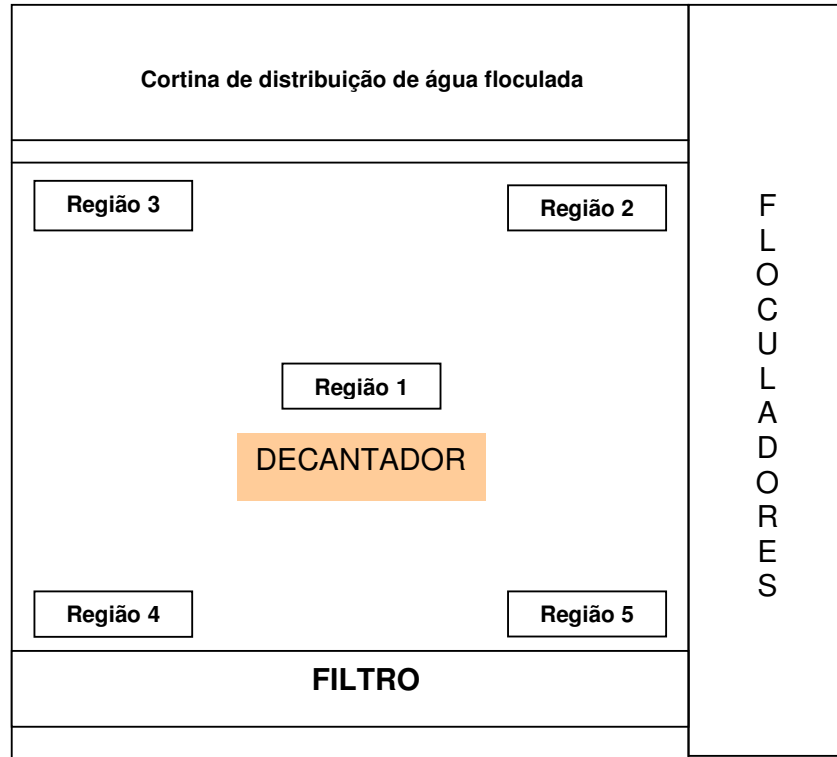


Figura 28: Regiões de coleta de amostras no decantador

9. Caracterização do sulfato de alumínio utilizado pela ETA-Itabirito

Realizou-se a análise de metais presentes em amostras do sulfato de alumínio, coagulante utilizado pela ETA-Itabirito.

A pesquisa de metais seguiu a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” publicado pela APHA (1998), sendo que as amostras foram digeridas por via úmida com ácido nítrico e clorídrico e as leituras foram realizadas pelo método Absorção Atômica por chama de ar acetileno e Espectrômetro de Emissão Óptica Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), marca SPECTRO / modelo Ciro CCD. Os elementos analisados encontram-se na Tabela 11, anteriormente apresentada.

10. Obtenção e caracterização da água de lavagem dos filtros da ETA

A água de lavagem dos filtros foi coletada na ETA-Itabirito com o auxílio de um frasco na região central de um dos filtros, onde a mistura do resíduo era mais eficiente. A amostra foi coletada do início ao fim do período de lavagem, em intervalos de 30 segundos, formando uma amostra composta, que foi caracterizada segundo os parâmetros contidos na Tabela 12. O tempo total de lavagem dos filtros da ETA é 5 minutos.

Tabela 12: Parâmetros analisados na água de lavagem de filtro

Parâmetros	Unidade
Turbidez	uT
Cor aparente	uH
pH	
Alcalinidade	(mg/L de CaCO ₃)
Dureza	(mg/L de CaCO ₃)
Cloretos	(mg/L de Cl ⁻)
DQO	(mg/L)
Sólidos Totais	(mg/L)
Sólidos Totais Fixos	(mg/L)
Sólidos Totais Voláteis	(mg/L)
Sólidos Suspensos Totais	(mg/L)
Sólidos Suspensos Fixos	(mg/L)
Sólidos Suspensos Voláteis	(mg/L)
Metais (mg/L)	Fe
	Mn
	Ca
	Mg
	Pb
	Cd

11. RESULTADOS E DISCUSSÃO

11.1. Dados operacionais e de qualidade da água tratada da ETA-Itabirito

Os decantadores da ETA-Itabirito apresentam dimensões de 3,50 m de altura (0,20 m de borda livre), 20,80m de comprimento e 5,10 m de largura, tendo um caimento (declividade) direcionado para a região central, onde se localiza a adufa para a descarga do lodo. O volume total do decantador em análise é de 371 m³, sendo este volume destinado à massa líquida como também para o armazenamento de lodo. Uma vez que a cada 12 meses, aproximadamente, é esvaziado todo o volume do decantador (líquido e lodo), anualmente é descartado, aproximadamente, 594 m³ de água parcialmente tratada e, 95,5 m³ de lodo, considerando-se os dois decantadores da ETA. Todo este lodo é encaminhado para o córrego da Carioca, o qual à montante serve como manancial para a ETA, conforme mostra a Figura 28.



Figura 29: Córrego da Carioca após a lavagem dos decantadores da ETA-Itabirito

11.2. Características da água bruta e tratada da ETA-Itabirito

As Tabelas 13 a 21 mostram os dados referentes ao consumo de produtos químicos pela ETA, os dados relativos à caracterização anual da água tratada em função da Portaria 518 do Ministério da Saúde de 2004 (os dados foram fornecidos pela Seção

de Controle de Qualidade de Água do SAAE de Itabirito - SECOQ/ETA) e também os dados de caracterização da água bruta. Estes dados mostram-se importantes uma vez que podem ser relacionados às condições de tratamento da água, evidenciando fases onde o mesmo pode ter-se tornado na compatível com as características exigíveis.

Tabela 13: Turbidez da água bruta e água tratada e cor da água bruta – Consumo de coagulante
EXERCÍCIO 2005 e 2006

MESES/ ANO	TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA (uT)			COR DA ÁGUA BRUTA (°H)			TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA (uT)	DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO (g/m ³)
	MÍN	MÉD	MÁX	MÍN	MÉD	MÁX		
jul/05	0,2	0,5	1	0,2	1	4,9	0,55	0,4
ago/05	0,2	5,3	112,7	0,7	1	5,6	0,54	1,4
set/05	0,2	27,5	276	0,8	1	4,2	0,3	2,8
out/05	0,2	27,5	276	1	3	10,2	0,26	2,3
nov/05	2,5	36,7	224,5	1	12	47	0,26	5,1
dez/05	0,5	33,2	185,1	1	30	119	0,2	11,4
jan/06	1,5	22	136	1	41,7	481	0,13	4,4
fev/06	0,9	19	119	1	9,7	87,7	0,13	5
mar/06	2,5	22	111	1	8,6	69	0,31	6,5
abr/06	1,5	2,8	9	1	1,1	3,4	0,31	0,4
mai/06	0,6	2,6	16	0,7	12	7,4	1,03	0,6
jun/06	0,5	1,7	7,5	0,2	0,5	4,1	0,46	0,23

Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 14: Resultados dos parâmetros Orgânicos e Inorgânicos (água tratada) – Portaria 518-MS – 2004

PARÂMETRO	Unidade	VMP*	RESULTADOS
Inorgânicos			
Antimônio	mg/L	0,005	< 0,005
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01
Bário	mg/L	0,7	< 0,05
Cádmio	mg/L	0,005	< 0,001
Cianeto	mg/L	0,07	< 0,01
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01
Cobre	mg/L	2	< 0,02
Cromo	mg/L	0,05	< 0,05
Fluoreto ⁽²⁾	mg/L	1,5	0,81
Mercúrio	mg/L	0,001	< 0,0002
Nitrato (como N)	mg/L	10	0,06
Nitrito (como N)	mg/L	1	< 0,001
Selênio	mg/L	0,01	< 0,01

Orgânicos			
Acrilamida	µg/L	0,5	< 0,5
Benzeno	µg/L	5	< 5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7	< 0,3
Cloreto de Vinila	µg/L	5	< 5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10	< 5
1,1 Dicloroetano	µg/L	30	< 5
Diclorometano	µg/L	20	< 5
Estireno	µg/L	20	< 5
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2	< 2
Tetracloroetano	µg/L	40	< 5
Triclorobenzenos	µg/L	20	< 10
Tricloroetano	µg/L	70	< 5

* Valor Máximo Permitido
Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 15: Resultados dos parâmetros (agrotóxico e cianotoxinas) (água tratada) – Portaria 518-MS – 2004

PARÂMETRO	Unidade	VMP*	RESULTADOS
Agrotóxicos			
Alaclor	µg/L	20	< 5
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03	< 0,03
Atrazina	µg/L	2	< 1
Bentazona	µg/L	300	< 5
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2	< 0,1
2,4 D	µg/L	30	< 5
DDT (isômeros)	µg/L	2	< 1
Endossulfan	µg/L	20	< 5
Endrin	µg/L	0,6	< 0,1
Glifosato	µg/L	500	< 200
Heptacloro	µg/L	0,03	< 0,02
Heptacloro epóxido	µg/L	0,03	< 0,02
Hexaclorobenzeno	µg/L	1	< 0,5
Lindano (γ-BHC)	µg/L	2	< 1
Metolacloro	µg/L	10	< 5
Metoxicloro	µg/L	20	< 5
Molinato	µg/L	6	< 2
Pendimetalina	µg/L	20	< 5
Pentaclorofenol	µg/L	9	< 5
Permetrina	µg/L	20	< 5
Propanil	µg/L	20	< 5
Simazina	µg/L	2	< 1
Trifluralina	µg/L	20	< 5
CIANOTOXINAS			
Microcistinas	µg/L	1,0	< 0,5
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO			
Bromato	mg/L	0,025	< 0,005
Clorito	mg/L	0,2	< 0,1
Cloro livre	mg/L	5	0,86
Monocloramina	mg/L	3	0,07
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2	< 0,005
Trihalometanos Total	mg/L	0,1	< 0,02

* Valor Máximo Permitido
 Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 16: Resultados dos parâmetros dos padrões de radioatividade para a água potável –
 Portaria 518-MS - 2004

Parâmetro	Unidade	VMP*	RESULTADOS
Radioatividade alfa global	Bq/L	0,1	< 0,1
Radioatividade beta global	Bq/L	1,0	< 0,1

* Valor Máximo Permitido
 Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 17: Resultados dos parâmetros dos padrões de aceitação para consumo humano –
 Portaria 518-MS – 2004

PARÂMETRO	Unidade	VMP*	RESULTADOS
Alumínio	mg/L	0,2	< 0,10
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5	0,25
Cloreto	mg/L	250	1,21
Cor Aparente	Uh(mgPtCo/L)	15	8,00
Dureza	mg/L	500	8,05
Etilbenzeno	mg/L	0,2	< 0,005
Ferro	mg/L	0,3	0,08
Manganês	mg/L	0,1	< 0,05
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12	< 0,005
Odor	-	Não objetável	Não objetável
Gosto	-	Não objetável	Não objetável
Sódio	mg/L	200	1,40
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000	35,49
Sulfato	mg/L	250	4,69
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05	< 0,002
Surfactantes	mg/L	0,5	< 0,05
Tolueno	mg/L	0,17	< 0,005
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5	< 0,10
Zinco	mg/L	5	< 0,05
Xileno	mg/L	0,3	< 0,015

* Valor Máximo Permitido
 Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 18: Resultados para os parâmetros de condutividade pH da água tratada – Portaria 518-
 MS – 2004

PARÂMETROS	UNIDADE	VMP*	RESULTADOS
Condutividade	us /cm	-	26,00
pH	-	6,0 a 9,5	7,03

* Valor Máximo Permitido
 Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 19: Resultados dos parâmetros microbiológicos (água tratada) – Portaria 518-MS – 2004

PARÂMETROS	UNIDADE	VMP*	RESULTADOS
Coliformes totais		Ausência	Ausência
Coliformes fecais		Ausência	Ausência
Bactérias heterotróficas	UFC	500	2,0

* Valor Máximo Permitido
 Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 20: Valores de turbidez da água bruta e água tratada da ETA-Itabirito

DADOS DE TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITABIRITO – 2005 e 2006							
MESES	TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA (uT)			TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA (uT)	VOLUME TRATADO m ³	DOSAGEM MÉDIA DE SULFATO DE ALUMÍNIO (g/m ³)	MASSA DE SULFATO DE ALUMÍNIO CONSUMIDA (kg)
	MÍN	MÉD	MÁX				
JUL-05	0,2	0,5	1,0	0,13	253409	0,4	101,4
AGO-05	0,2	5,3	112,7	0,13	269997	1,4	378
SET-05	0,2	27,5	276,0	0,31	261622	2,8	732,5
OUT-05	0,2	27,5	276,0	0,31	261834	2,3	602,2
NOV-05	2,5	36,7	224,5	1,03	252480	5,1	1287,6
DEZ-05	0,5	33,2	185,1	0,46	255731	11,4	2915,3
JAN-06	1,5	22	136	0,48	271538	4,4	1194,8
FEV-06	0,9	19	119	0,41	261407	5	1307
MAR-06	2,5	22	111	0,32	268774	6,5	1747
ABR-06	1,5	2,8	9	0,29	263964	0,4	105,6
MAI-06	0,6	2,6	16	0,25	262701	0,6	157,6
JUN-06	0,5	1,7	7,5	0,16	251810	0,23	57,9
Volume total					3135267	Massa total	10586,9

Fonte: SECOQ/ETA (2005)

Tabela 21: Resultados dos parâmetros analisados na água bruta da ETA-Itabirito, nos dias de coleta de amostras de lodo - 2005

Parâmetros		Coletas - 2005						
		Unidade	Meses					
			Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Turbidez	uT	7	21	16		25		25
Cor	uH			6	16	27	33	27
pH				6,9	6,8	6,8	7,2	6,8
Metais (mg/L)	Fe			2,3	2,1	NR	1,7	1,1
	Mn			NR	0,7	1	0,9	1,2
	Al			NR	NR	0,3	NR	NR

NR – Não realizado

Tabela 22: Resultados dos parâmetros analisados na água bruta da ETA-Itabirito, nos dias de coleta de amostras de lodo - 2006

Parâmetros		Coletas - 2006						
		Unidade	Meses					
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Turbidez	uT	27	29	14	11	12	7	
Cor	uH	7	11	11	13	6	7	
pH		7	7	7,3	6,9	7	7,1	
Metais (mg/L)	Fe	2,1	1,7	3,2	1,2	2,1	2,2	

	Mn	0,5	0,9	1,1	1,3	NR	NR
	Al	NR	NR	NR	0,3	0,3	0,5

NR – Não realizado

11.3. Dados operacionais de lavagem dos filtros

De acordo com Castro et al. (1997) a vazão média de resíduos gerados em uma ETA se encontra na faixa de 1 a 3% do volume tratado, sendo que 10% referem-se à descarga de decantadores e 90% à água de lavagem de filtros. Assim, em torno de 0,1% a 0,3% dos resíduos é gerado nos decantadores, valor este próximo ao encontrado na ETA - Itabirito.

Na ETA-Itabirito o volume tratado no período anual estudado foi de 3135267 m³, sendo 29200 m³ de água de lavagem dos filtros e 95,5 m³ referente ao volume de lodo dos decantadores da estação. Assim, o volume de resíduos da ETA-Itabirito representa aproximadamente 1% do volume de água tratada, sendo 99,7% deste, provenientes da lavagem dos filtros e 0,3% das descargas dos decantadores.

A Tabela 23 mostra a relação entre os volumes (estimados) de resíduos produzidos pela ETA-Itabirito, em função do tipo e do local de produção. Pode-se observar que a lavagem dos filtros é responsável, em termos de volume, pela maior parte dos resíduos gerados na ETA. Isto ocorre em função da periodicidade das lavagens dos filtros e volume de água necessária para a realização das mesmas.

Tabela 23: Relação entre volume de água tratada na ETA e volume de resíduos gerados

Tipo de resíduo	Volume produzido – diário (m³)	Volume total – anual (m³)	Volume de água tratada – anual (m³)	Percentual do resíduo	Percentual dos resíduos em relação ao volume de água tratada
Água de lavagem dos filtros	80	29200	3135267	99,7%	1%
Lodo do decantador	0,26	95,4		0,3 %	

11.4. Caracterização dos resíduos gerados no decantador da ETA

Para fins de caracterização do lodo da ETA-Itabirito, foram coletadas amostras na região central de um dos decantadores. Estas amostras foram analisadas entre os meses de julho de 2005 a junho de 2006, conforme mostra a Tabela 24.

Tabela 24: Resultados dos parâmetros analisados no lodo gerado nos decantadores da ETA-Itabirito

Parâmetro	Julho/2005	Outubro/2005	Janeiro/2006	Março/2006	Junho/2006
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Al	153356	23908	79845	124635	142276
As	41	5	17	26	42,5
Ba	267	45,4	130	231	254
Be	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Bi	<5,80	<5,80	<5,80	<5,80	<5,80
Ca	489	147,5	236	387,4	567
Cd	7,47	1,94	3,91	5,18	6,23
Co	56	14	21	35	51,5
Cr	505	156	284	319	420
Cu	54	21,2	34	42,4	51,8
Fe	109442	23415	63638	89521	102120
K	12439	3458	8856	10674	11408
Li	23	4	12	19	27,4
Mg	1529	247	589	1256	1654
Mn	1190	278,4	677	897,3	1244
Na	436	174	277	356	473
Ni	124	34	59	121	165
P	450	142	237	437	500
Pb	<6	<6	<6	<6	<6,41
Sb	<4	<4	<4	<4	<4,60
Sr	41	12	21	26	33,6
Ti	3678	562	1735	2315	3581
Zn	<0,5	<0,3	<0,5	<0,3	<0,37

A Tabela 24 permite a realização de uma avaliação da concentração de metais presentes no lodo da ETA-Itabirito coletadas entre julho de 2005 a junho de 2006. Os metais que se apresentaram em teores consideráveis são: Al, Fe, Ti, Mn, Cr e Cd.

Os elevados teores de Al e Fe encontrados nas amostras de lodo se devem à utilização do sulfato de alumínio como coagulante, o qual se precipita nos decantadores sob a forma de hidróxido de alumínio. Os teores de Fe e Mn se devem também, às

características da água bruta utilizada pelo SAAE-Itabirito. Esta água bruta é rica em Fe e Mn, pois suas fontes se dão em regiões mineradoras. Estas regiões são ricas em minério Itabirito, o qual possui elevado teor de Fe e Mn em sua constituição.

Os elementos Ti, Cr e Cd foram encontrados em valores consideráveis, pois os mesmos são tidos como impurezas do sulfato de alumínio. É importante destacar que o sulfato de alumínio, largamente utilizado pelas ETAs de médio porte, é considerado um subproduto da produção de TiO_2 , na qual ocorre a considerável presença de Cd e Cr, os quais são incorporados ao sulfato de alumínio.

11.5. Resultados do estudo da variação do teor de sólidos totais em função da localização no decantador

As Figuras 30 a 34 mostram a variação do teor de sólidos totais em função da localização no decantador. Pode-se observar que a Região 1 apresentou maior teor de sólidos totais. Isto se deve ao fato que todo o lodo é encaminhado para a adufa de fundo localizada na região central do decantador, todavia, este encaminhamento é favorecido quando é realizado sob a ação de jatos de água de mangueiras e raspadores manuais utilizados pelos operadores no momento da lavagem. Este fato mostra a relação ineficiente existente entre a declividade do decantador e a remoção do lodo gerado pela ETA.

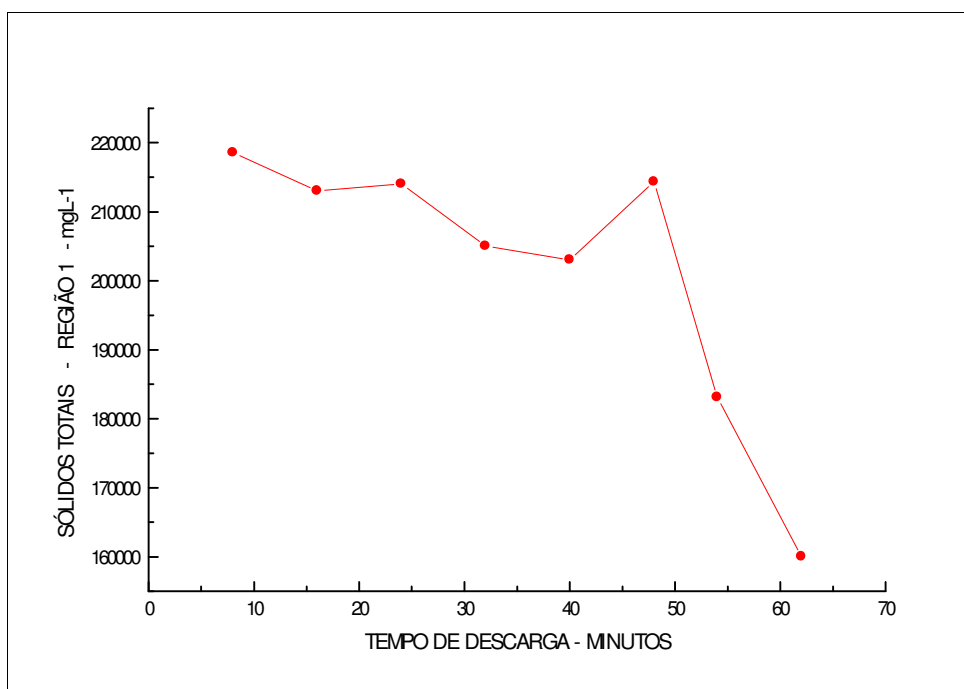


Figura 30: Variação de sólidos totais no decantador (região 1) durante a descarga – valores médios

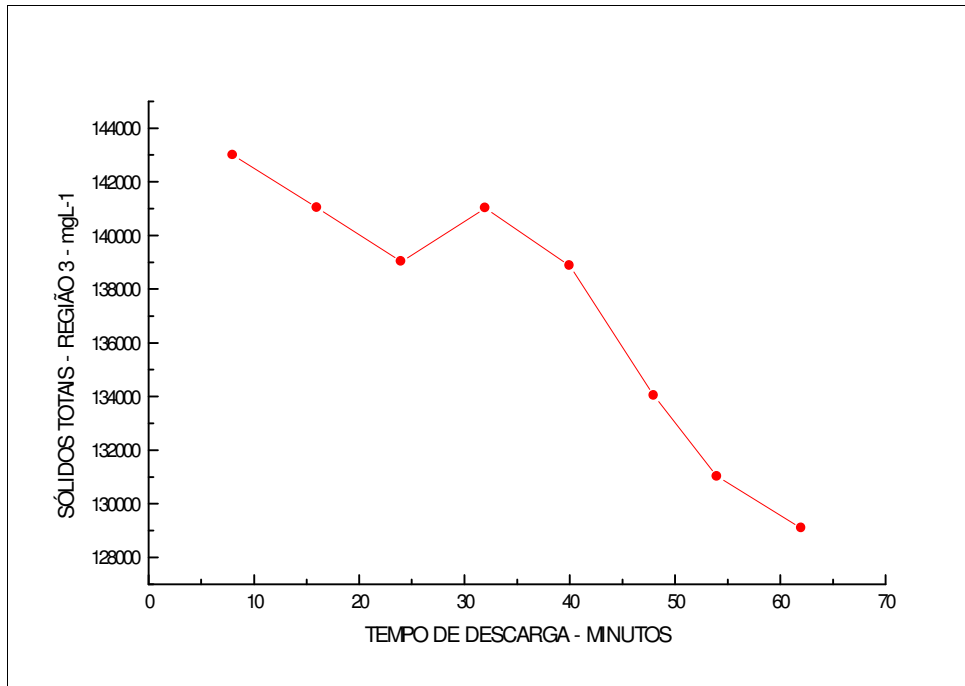


Figura 31: Variação de sólidos totais no decantador (região 3) durante a descarga – valores médios

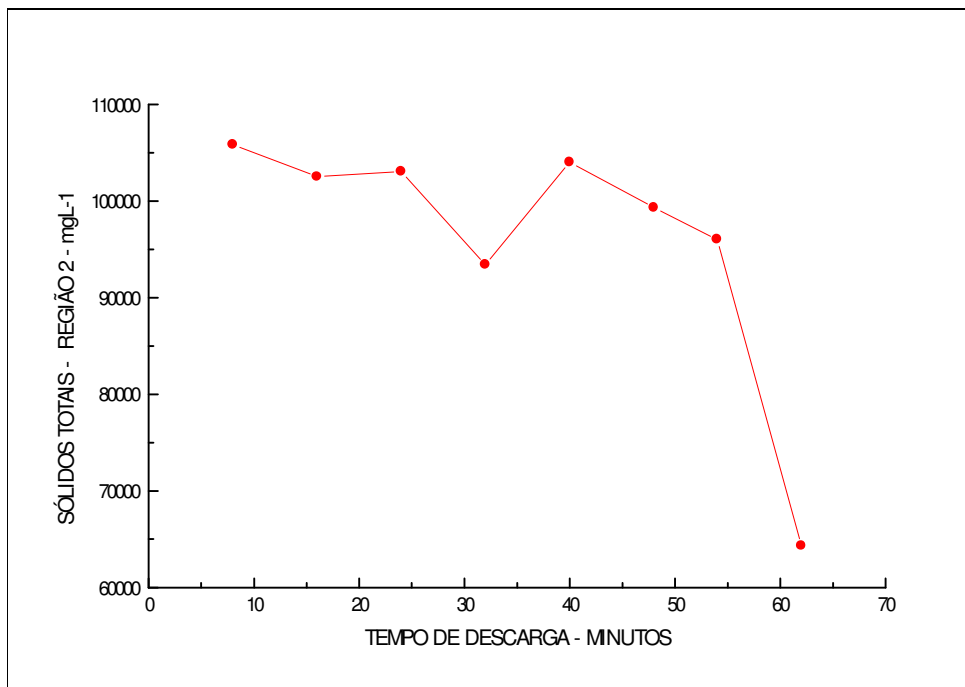


Figura 32: Variação de sólidos totais no decantador (região 2) durante a descarga - valores médios

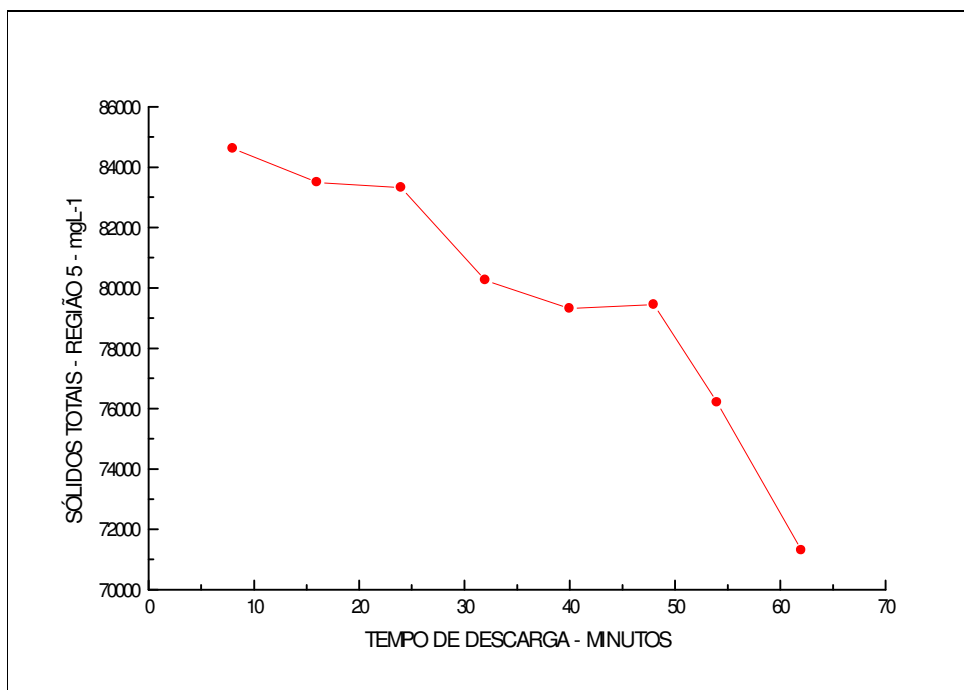


Figura 33: Variação de sólidos totais no decantador (região 5) durante a descarga - valores médios

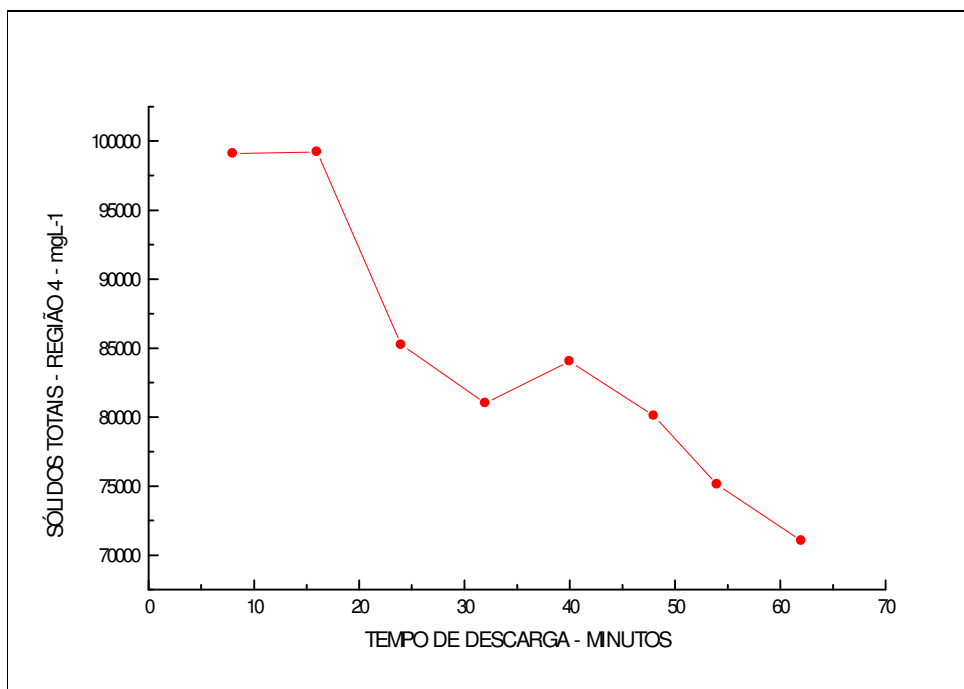


Figura 34: Variação de sólidos totais no decantador (região 4) durante a descarga - valores médios

Outro fato importante é a presença de uma cortina de madeira cuja função é a melhor distribuição de água, vinda dos flocladores, nos decantadores. Entre as paredes do decantador e a cortina de madeira, ocorre um considerável acúmulo de lodo, o qual não é retirado de forma completa devido à dificuldade de acesso. A cortina de madeira impede o encaminhamento do lodo à região de descarte do mesmo (região central). As Figuras 35, 36 e 37 mostram o acúmulo de lodo entre as paredes do decantador e a cortina de distribuição de água coagulada.



Figura 35: Lodo acumulado entre a cortina de distribuição e as paredes do decantador



Figura 36: Ação do operador na raspagem do lodo entre a cortina de distribuição e as paredes do decantador



Figura 37: Passagem do lodo pela cortina de distribuição

11.6. Quantificação do lodo

A seguir, são apresentados os resultados referentes à quantificação da massa lodo gerado nos decantadores da ETA-Itabirito. Estes resultados foram calculados utilizando-se as fórmulas empíricas propostas pelos autores em estudo. A massa total de lodo gerado foi calculada utilizando-se os valores médios mensais de turbidez e cor da água bruta, assim como o volume médio mensal de água tratada pela ETA-Itabirito.

Tabela 25: Produção de lodo segundo Kawamura

MESES	TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA (uT)			DOSAGEM MÉDIA DE SULFATO DE ALUMÍNIO (g/m ³)	VOLUME TRATADO m ³	Produção de lodo (g de matéria seca - m ³ de água tratada) segundo Kawamura P = (1,5. T + k.D)	Lodo (TON)
	MÍN	MÉD	MÁX				
	JUL-05	0,2	0,5				
AGO-05	0,2	5,3	112,7	1,4	269997	8,2	2,2
SET-05	0,2	27,5	276,0	2,8	261622	41,9	11,0
OUT-05	0,2	27,5	276,0	2,3	261834	41,8	11,0
NOV-05	2,5	36,7	224,5	5,1	252480	56,3	14,2
DEZ-05	0,5	33,2	185,1	11,4	255731	52,4	13,4
JAN-06	1,5	22	136	4,4	271538	34,0	9,2
FEV-06	0,9	19	119	5	261407	29,7	7,8
MAR-06	2,5	22	111	6,5	268774	34,5	9,3
ABR-06	1,5	2,8	9	0,4	263964	4,3	1,1
MAI-06	0,6	2,6	16	0,6	262701	4,0	1,1
JUN-06	0,5	1,7	7,5	0,23	251810	2,6	0,7
Volume total					3135267	310,6	81,1

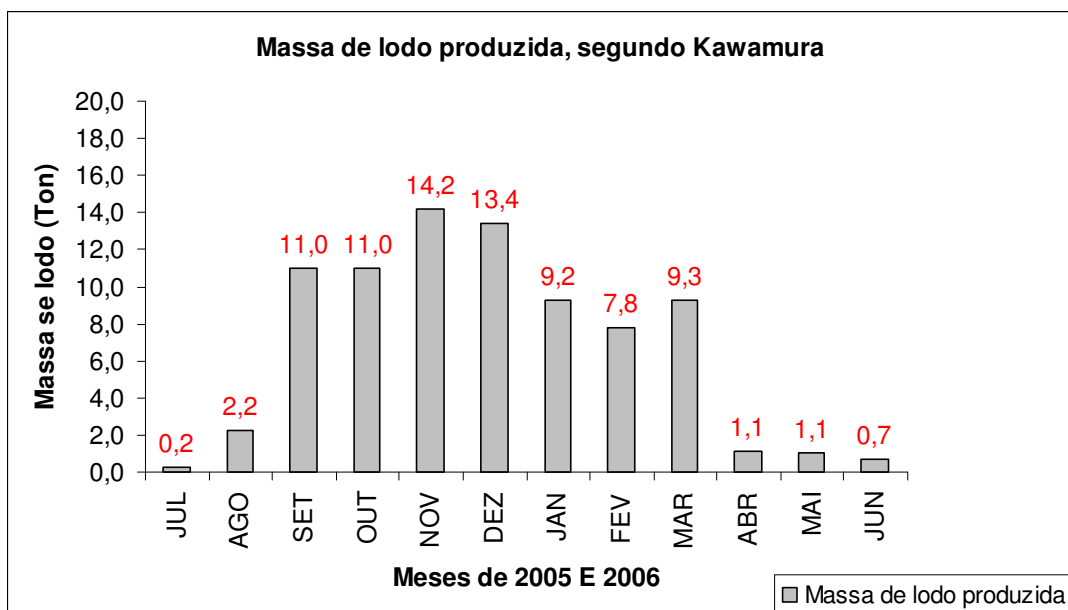


Figura 38: Massa de lodo produzida, segundo Kawamura

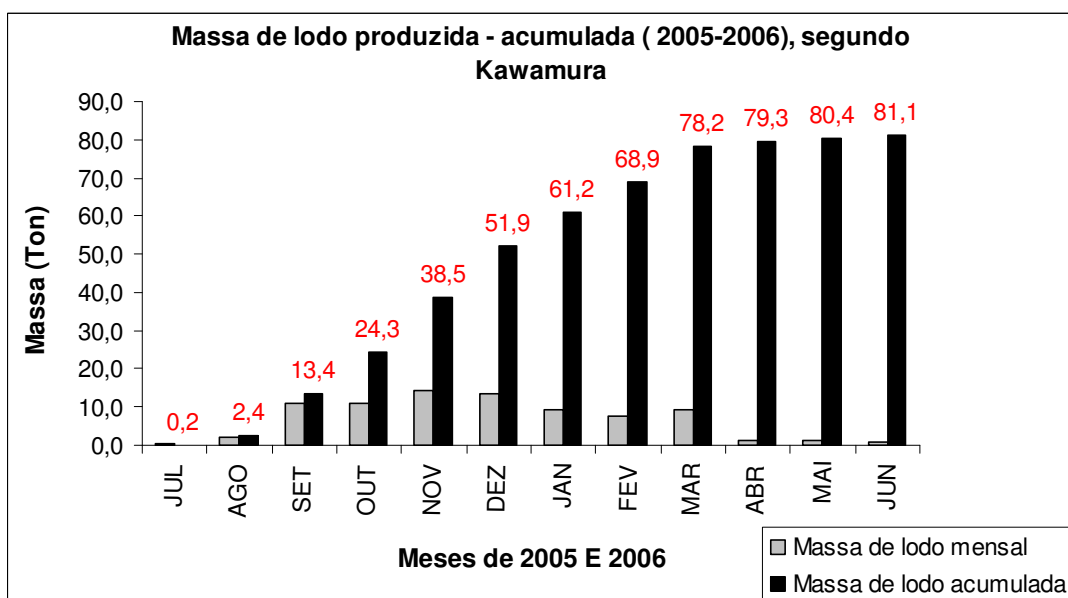


Figura 39: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo Kawamura

Tabela 26: Produção de lodo segundo Cornwell

DADOS DE TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITABIRITO – 2005 e 2006							
MESES	TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA (uT)			DOSAGEM MÉDIA DE SULFATO DE ALUMÍNIO (g/m ³)	VOLUME TRATADO m ³	Produção de lodo (g de matéria seca - m ³ de água tratada) segundo Cornwell P=(0,44.DSA + 1,5.T + A)	Lodo (TON)
	MÍN	MÉD	MÁX				

JUL-05	0,2	0,5	1,0	0,4	253409	0,9	0,2
AGO-05	0,2	5,3	112,7	1,4	269997	8,5	2,3
SET-05	0,2	27,5	276,0	2,8	261622	42,5	11,1
OUT-05	0,2	27,5	276,0	2,3	261834	42,3	11,1
NOV-05	2,5	36,7	224,5	5,1	252480	57,3	14,5
DEZ-05	0,5	33,2	185,1	11,4	255731	54,8	14,0
JAN-06	1,5	22	136	4,4	271538	34,9	9,5
FEV-06	0,9	19	119	5	261407	30,7	8,0
MAR-06	2,5	22	111	6,5	268774	35,9	9,6
ABR-06	1,5	2,8	9	0,4	263964	4,4	1,2
MAI-06	0,6	2,6	16	0,6	262701	4,2	1,1
JUN-06	0,5	1,7	7,5	0,23	251810	2,7	0,7
Volume total					3135267	319,1	83,3

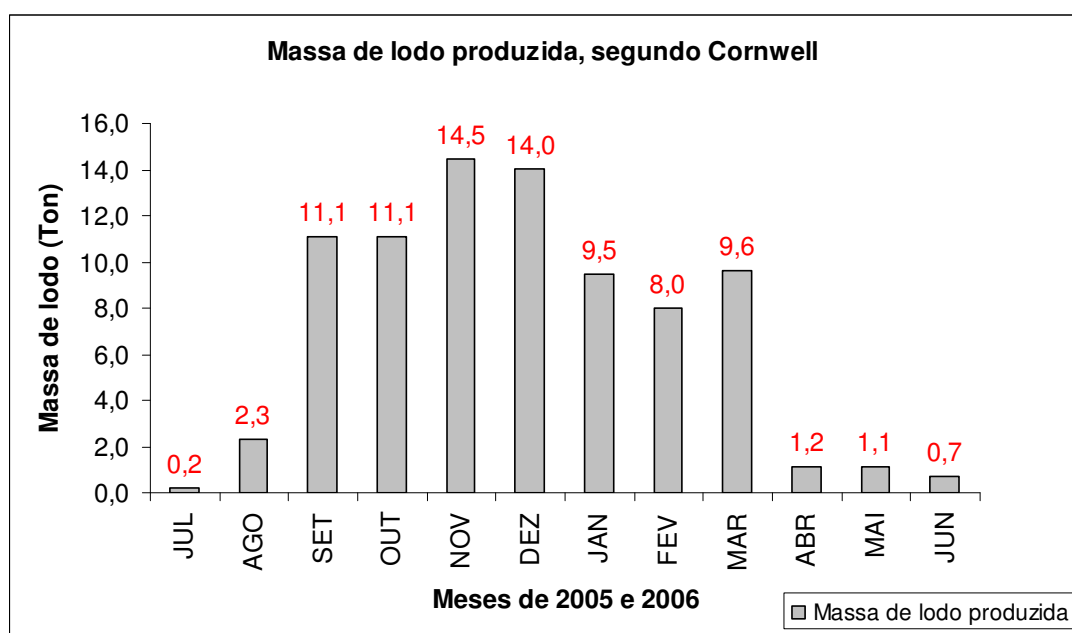


Figura 40: Massa de lodo produzida, segundo Cornwell

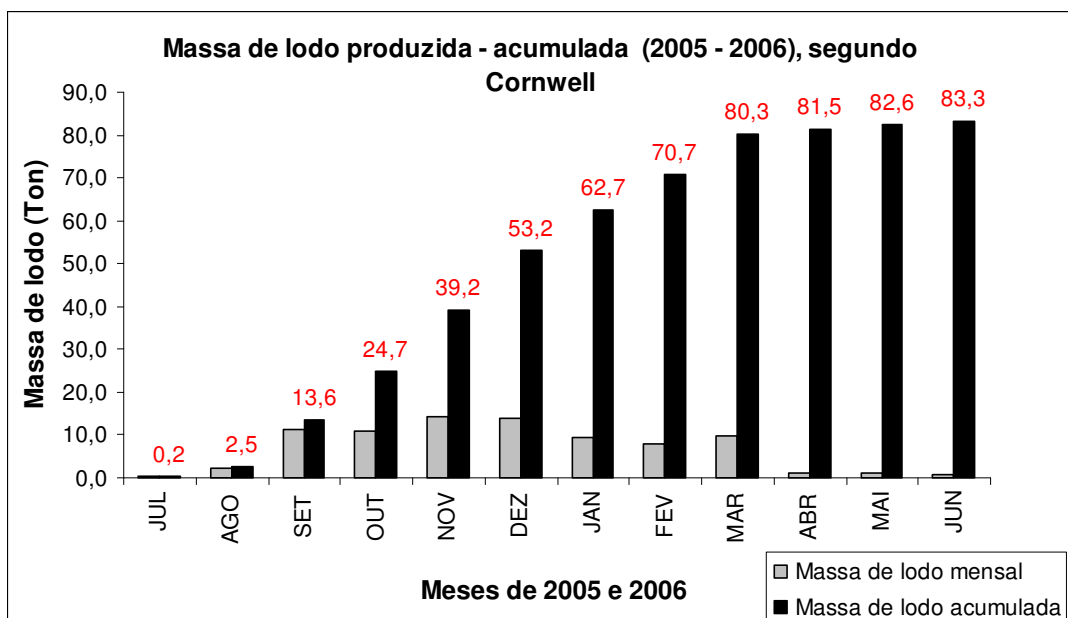


Figura 41: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo Cornwell

Tabela 27: Produção de lodo segundo WRC

DADOS DE TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITABIRITO - 2005 - 2006											
MESES	TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA (uT)			COR DA ÁGUA BRUTA (°H)			DOSAGEM MÉDIA DE SULFATO DE ALUMÍNIO (g/m ³)	VOLUME TRATADO m ³	Produção de lodo (g de matéria seca - m ³ de água tratada) segundo WRC P=(1,2 . T + 0,07.C + KD + A)	Lodo (TON)	
	MÍN	MÉD	MÁX	MÍN	MÉD	MÁX					
JUL-05	0,2	0,5	1,0	0,2	1	4,9	0,4	253.409	0,7	0,2	
AGO-05	0,2	5,3	112,7	0,7	1	5,6	1,4	269.997	6,6	1,8	
SET-05	0,2	27,5	276,0	0,8	1	4,2	2,8	261.622	33,6	8,8	
OUT-05	0,2	27,5	276,0	1	3	10,2	2,3	261.834	33,6	8,8	
NOV-05	2,5	36,7	224,5	1	12	47,0	5,1	252.480	45,8	11,6	
DEZ-05	0,5	33,2	185,1	1	30	119,0	11,4	255.731	43,8	11,2	
JAN-06	1,5	22	136	1	41,7	481,0	4,4	271538	30,1	8,2	
FEV-06	0,9	19	119	1	9,7	87,7	5	261407	24,3	6,4	
MAR-06	2,5	22	111	1	8,6	69,0	6,5	268774	28,1	7,6	
ABR-06	1,5	2,8	9	1	1,1	3,4	0,4	263964	3,5	0,9	
MAI-06	0,6	2,6	16	0,7	12	7,4	0,6	262701	4,1	1,1	
JUN-06	0,5	1,7	7,5	0,2	0,5	4,1	0,23	251810	2,1	0,5	
Volume Total									256,4	66,9	

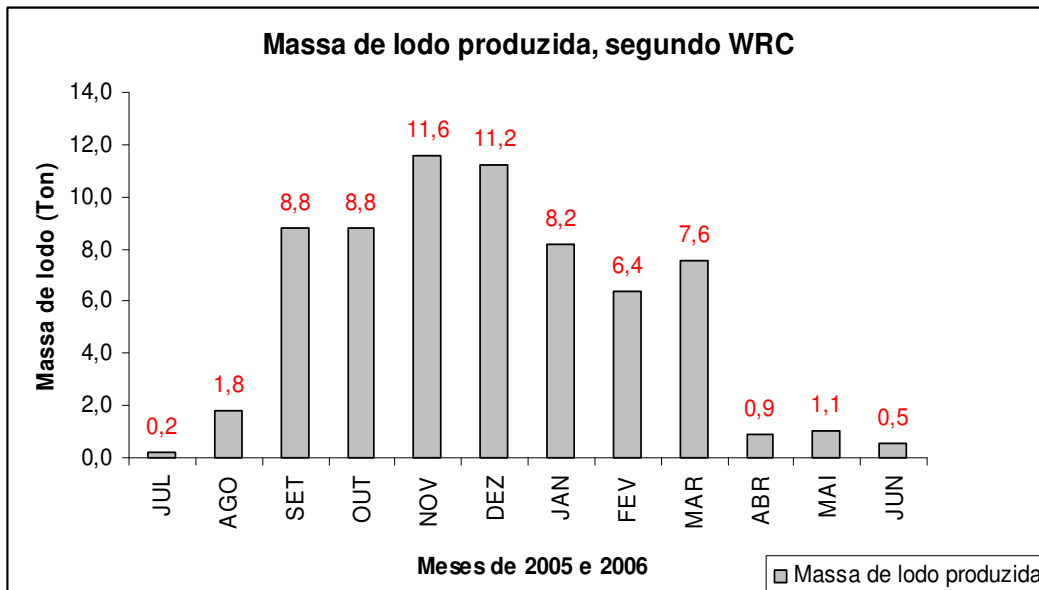


Figura 42: Massa de lodo produzida, segundo WRC

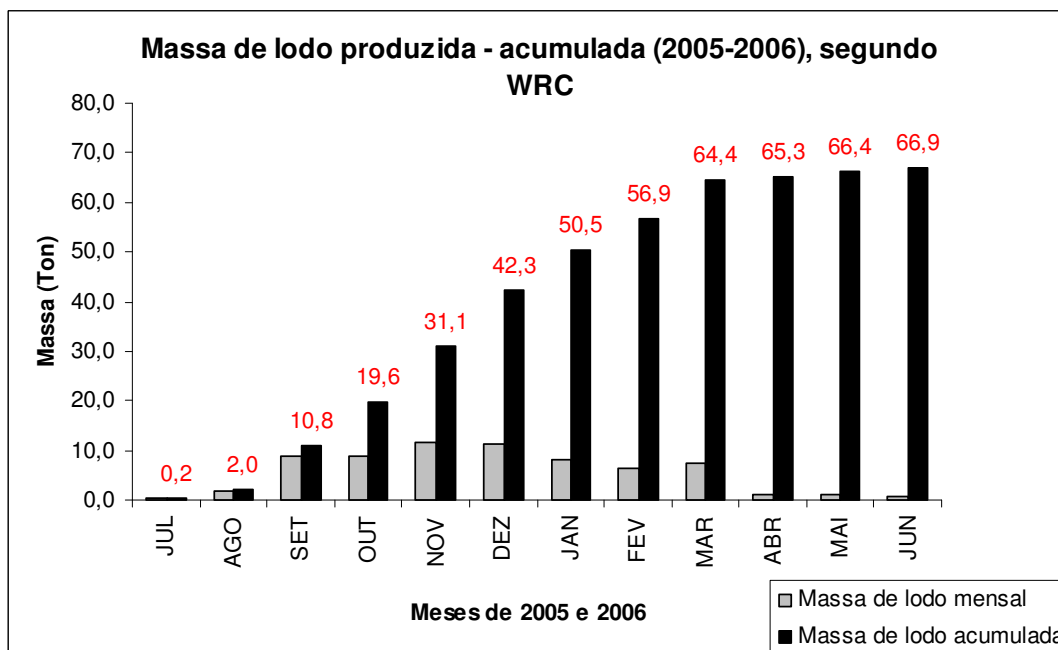


Figura 43: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo WRC

Tabela 28: Produção de lodo segundo AWWA

MESES	TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA (uT)			VOLUME TRATADO m ³	Produção de lodo (g de matéria seca - m ³ de água tratada) segundo - AWWA $P=(3,5 \cdot T^{0,66})$	Lodo (TON)
	MÍN	MÉD	MÁX			
	JUL-05	0,2	0,5			
AGO-05	0,2	5,3	112,7	269.997	10,5	2,8
SET-05	0,2	27,5	276,0	261.622	31,2	8,2
OUT-05	0,2	27,5	276,0	261.834	31,2	8,2
NOV-05	2,5	36,7	224,5	252.480	37,7	9,5
DEZ-05	0,5	33,2	185,1	255.731	35,3	9,0
JAN-06	1,5	22	136	271538	26,9	7,3
FEV-06	0,9	19	119	261407	24,4	6,4
MAR-06	2,5	22	111	268774	26,9	7,2
ABR-06	1,5	2,8	9	263964	6,9	1,8
MAI-06	0,6	2,6	16	262701	6,6	1,7
JUN-06	0,5	1,7	7,5	251810	5,0	1,3
Volume Total					244,8	64,0

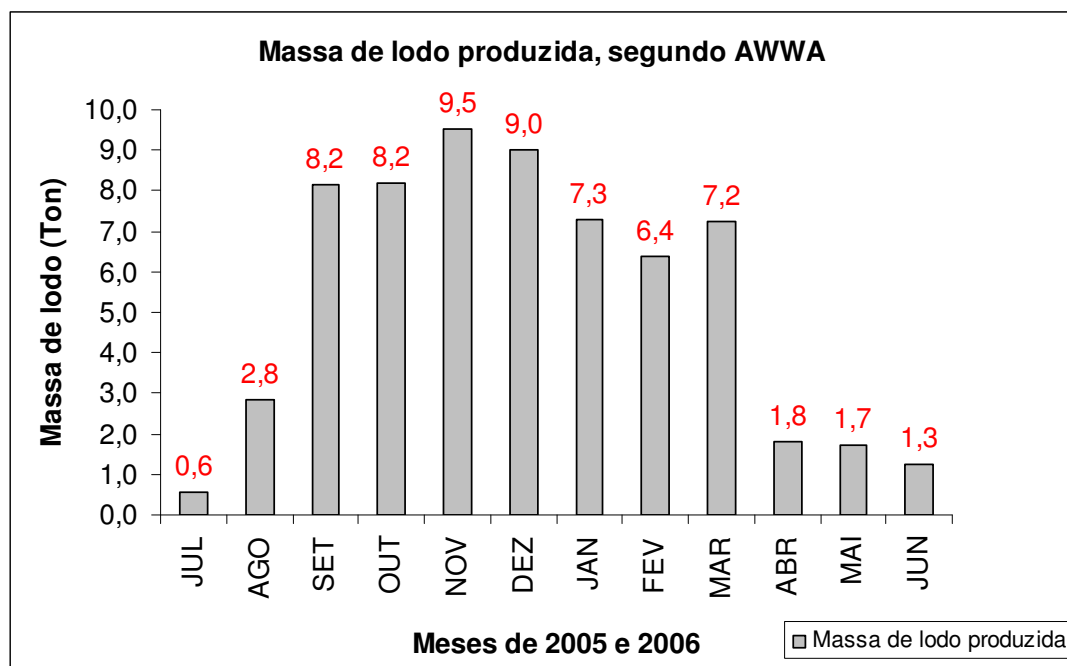


Figura 44: Massa de lodo produzida, segundo AWWA

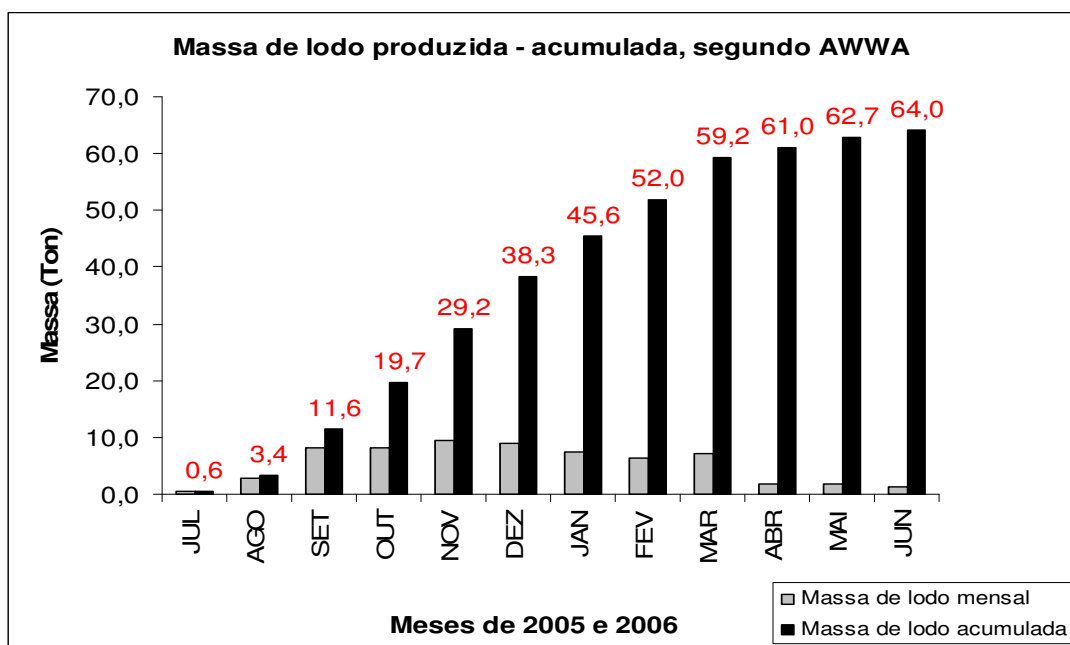


Figura 45: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo AWWA

Tabela 29: Produção de lodo segundo Richter

DADOS DE TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITABIRITO - 2005 - 2006											
MESES	TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA (uT)			COR DA ÁGUA BRUTA (°H)			DOSAGEM MÉDIA DE SULFATO DE ALUMÍNIO (g/m ³)	VOLUME TRATADO m ³	Produção de lodo (g de matéria seca - m ³ de água tratada) segundo Richter P=(0,2.C + K ₁ T + K ₂ D)/1000	Lodo (TON)	
	MÍN	MÉD	MÁX	MÍN	MÉD	MÁX					
JUL-05	0,2	0,5	1,0	0,2	1	4,9	0,4	253.409	0,9	0,2	
AGO-05	0,2	5,3	112,7	0,7	1	5,6	1,4	269.997	7,4	2,0	
SET-05	0,2	27,5	276,0	0,8	1	4,2	2,8	261.622	36,7	9,6	
OUT-05	0,2	27,5	276,0	1	3	10,2	2,3	261.834	37,0	9,7	
NOV-05	2,5	36,7	224,5	1	12	47,0	5,1	252.480	51,6	13,0	
DEZ-05	0,5	33,2	185,1	1	30	119,0	11,4	255.731	52,0	13,3	
JAN-06	1,5	22	136	1	41,7	481,0	4,4	271538	38,1	10,3	
FEV-06	0,9	19	119	1	9,7	87,7	5	261407	27,9	7,3	
MAR-06	2,5	22	111	1	8,6	69,0	6,5	268774	32,0	8,6	
ABR-06	1,5	2,8	9	1	1,1	3,4	0,4	263964	4,0	1,0	
MAI-06	0,6	2,6	16	0,7	12	7,4	0,6	262701	5,9	1,6	
JUN-06	0,5	1,7	7,5	0,2	0,5	4,1	0,23	251810	2,4	0,6	
Volume Total									295,9	77,3	

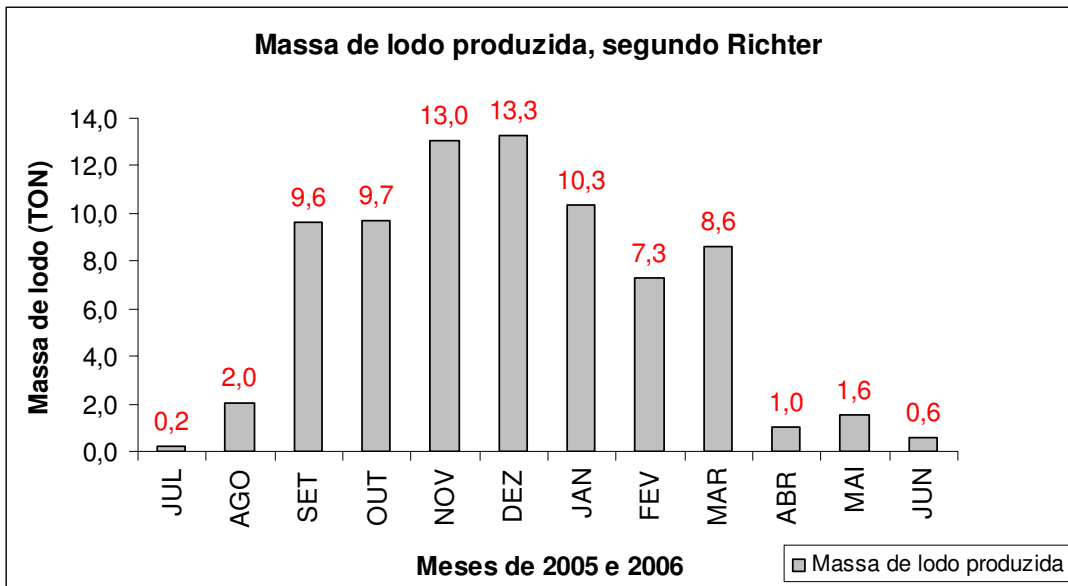


Figura 46: Massa de lodo produzida, segundo Richter

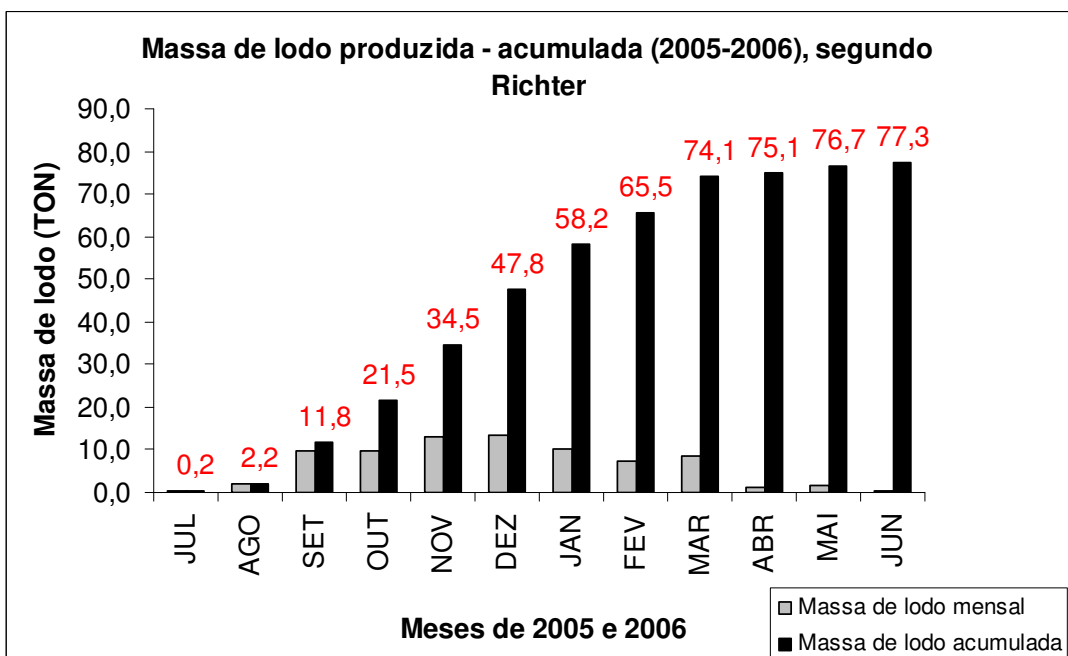


Figura 47: Massa de lodo produzida-acumulada, segundo Richter

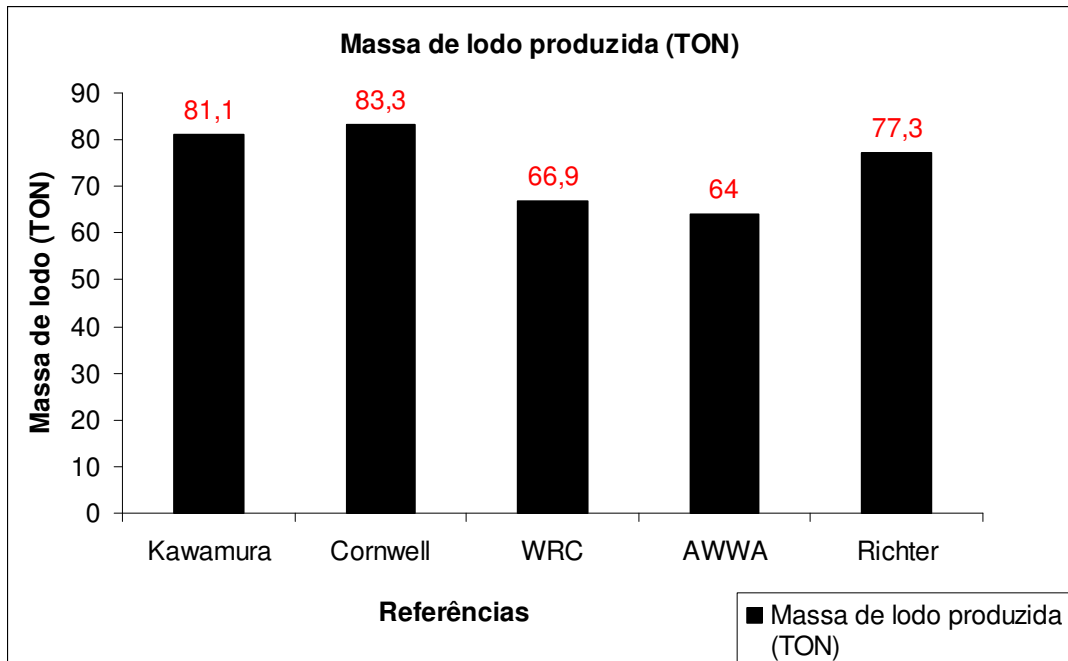


Figura 48: Comparação entre as massas de lodo produzidas (filtros e decantador)

A produção de lodo, in loco, foi estimada efetuando-se a medida da altura da camada de lodo formada no decantador da ETA-Itabirito. O valor da medida encontrado foi de 0,45 m. Utilizando-se as dimensões do decantador (5,1 metros de largura e 20,8 de metros de comprimento), chega-se ao volume de 47,7 m³ de lodo gerado em cada decantador da ETA-Itabirito. A Figura 49 mostra a marcação da camada de lodo formada na parede do decantador.



Figura 49: Marcação do lodo na parede do decantador da ETA-Itabirito

Tomando-se por base o volume de lodo medido no decantador e a concentração média de sólidos totais (130226,4 mg/L) obtida das análises iniciais do lodo em cada ponto decantador, conforme mostra a Tabela 30, pôde-se calcular a quantidade de sólidos em termos de massa seca acumulada no decantador. O valor encontrado, considerando-se os dois decantadores da ETA-Itabirito é de 12,4 toneladas.

Tabela 30: Concentrações de sólidos totais por região de decantadores da ETA-Itabirito

Região do decantador	Concentração de sólidos totais (mg/L)
1	218587
2	142989
3	105840
4	84618
5	99098
Valor médio	130226,4

12. Análise visual do Córrego da Carioca durante a lavagem de um dos decantadores da ETA-Itabirito

O impacto estético provocado pelo lançamento dos resíduos de lavagem do decantador da ETA-Itabirito, pode ser verificado momentos seguintes ao início do procedimento de lavagem. Percebe-se um aumento gradativo da turbidez da água do córrego da Carioca e um forte odor. É importante ressaltar que o córrego da Carioca é

afluente do Rio Itabirito, o qual é afluente do Rio das Velhas. O impacto visual pode ser detectado a cerca de 8 km do ponto de lançamento dos resíduos de lavagem do decantador. Ressalta-se também que o córrego da Carioca, à montante, serve como manancial de abastecimento da ETA-Itabirito. As Figuras 50, 51, 52, 53, 54 e 55 mostram a evolução das características estéticas do córrego da Carioca em função do lançamento dos resíduos de lavagem do decantador da ETA-Itabirito.



Figura 50: Córrego da Carioca antes do lançamento dos resíduos da ETA-Itabirito (100 metros após o ponto de descarga)



Figura 51: Córrego da Carioca no início da descarga da ETA-Itabirito (100 metros após o ponto de descarga)



Figura 52: Córrego da Carioca após a descarga do lodo da ETA-Itabirito (100 metros após o ponto de descarga)



Figura 53: Lodo no córrego da Carioca – Itabirito (100 metros após o ponto de descarga)



Figura 54: Córrego da Carioca com os resíduos – lodo do decantador (100 metros após o ponto de descarga)



Figura 55: Córrego da Carioca com os resíduos – lodo do decantador (100 metros após o ponto de descarga)

A evolução das características estéticas do córrego da Carioca relaciona-se ao comportamento dos gráficos relativos ao teor de sólidos totais em função do tempo de descarga do lodo do decantador. Esta relação se dá na medida em que, no início do processo de lavagem do decantador, ocorre um gradual aumento da turbidez das águas do córrego e que com o passar do tempo diminui em função da diluição do lodo e menor volume descartado.

13. Resultados dos ensaios de classificação dos resíduos gerados nos decantadores, segundo as normas da ABNT.

Nas Tabelas 31 e 32 são apresentados os resultados da análise dos produtos obtidos pela execução dos ensaios de lixiviação e solubilização dos lodos da ETA-Itabirito, juntamente com a concentração máxima definida para o respectivo ensaio.

Os resultados obtidos para o ensaio de solubilização, encontram-se de acordo com a Norma Técnica, não excedendo aos limites máximos estabelecidos, indicando

que estas amostras de lodo não representam um resíduo com características de periculosidade (resíduo Classe I).

A análise dos resultados do ensaio de lixiviação indica que as concentrações de manganês e ferro encontram-se acima do limite máximo estabelecido pela Portaria 518, 2004. Todavia, estes parâmetros não são considerados pela Norma 10006 da ABNT, Desta forma, o lodo é classificado segundo a norma técnica, como um resíduo Classe II A, não perigoso não-inerte.

Tabela 31: Resultados das análises químicas dos produtos do ensaio de solubilização, realizados com o lodo da ETA-Itabirito

Parâmetro	Solubilizado	Limite máximo ¹	Unidade
Cd	ND	0,005	mg/L
Pb	ND	0,05	mg/L
Cr	ND	0,05	mg/L
Fe	0,2	0,3	mg/L
Mn	0,04	0,1	mg/L
Al	0,15	0,2	mg/L

1 - Limites Máximos Permissíveis para o Ensaio de Solubilização, NBR 10006 (ABNT, 2004);
ND – não detectado

Tabela 32: Resultados das análises químicas dos produtos do ensaio de Lixiviação, realizados com o lodo da ETA-Itabirito

Parâmetro	Lixiviado	Limite máximo ¹	Limite máximo ²	Limite máximo ³	Unidade
Al	0,7	*	**	0,2	mg/L
As	ND	*	0,5	0,01	mg/L
Ba	0,03	100	5,0	0,7	mg/L
Cd	0,005	0,5	0,2	0,005	mg/L
Cr	0,05	5	0,5	0,05	mg/L
Cu	1	*	1,0	2	mg/L
Fe	0,5	*	15,0	0,3	mg/L
Mn	0,13	*	1,0	0,1	mg/L
Pb	ND	5	0,5	0,01	mg/L
Zn	0,01	*	5,0	0,3	mg/L

1 - Limites Máximos Permissíveis para o Ensaio de Lixiviação, NBR 10006 (ABNT, 2004);

2 – Limites Máximos Permissíveis pela Resolução 357, de 17 de março de 2005, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA;

3 – Limites Máximos Permissíveis pela Portaria 518, 2004;

* Parâmetro não considerado pela NBR 10.004;

** Parâmetro não considerado pela Resolução 357 – CONAMA.

14. Caracterização do sulfato de alumínio

A Tabela 33 mostra os resultados da caracterização da amostra de sulfato de alumínio utilizado pela ETA-Itabirito.

Tabela 33: Caracterização da amostra de sulfato de alumínio

Parâmetro	Unidade	Amostra de sulfato de alumínio
Ni	mg/kg	32
As	mg/kg	38,3
Ba	mg/kg	3
Bi	mg/kg	ND
Ca	mg/kg	40,6
Cd	mg/kg	4,4
Co	mg/kg	42
Cr	mg/kg	132
Cu	mg/kg	4,4
Fe	mg/kg	1700
Mg	mg/kg	211
Mn	mg/kg	93
Ni	mg/kg	32
P	mg/kg	134
Pb	mg/kg	23,3
Sb	mg/kg	ND
Sc	mg/kg	ND
Ti	mg/kg	457
Zn	mg/kg	12

ND – Não detectado

Pode-se observar que os teores de Fe e Ti são consideravelmente altos. Estes teores, aliados aos teores de Fe da água bruta, podem justificar os valores encontrados nas amostras de lodo retiradas dos decantadores na ocasião de lavagem dos mesmos.

É importante ressaltar que alguns valores encontrados na caracterização da amostra de sulfato de alumínio se encontram na faixa dos valores apresentados por Freitas (2004), como por exemplo, o cobre, chumbo, manganês e zinco. O valor encontrado para o elemento arsênio é consideravelmente alto, uma vez que é prevista sua isenção em grande parte das marcas de sulfato de alumínio utilizadas.

15. Caracterização da água de lavagem dos filtros

A lavagem dos filtros da ETA-Itabirito é realizada diariamente e alternadamente em cada filtro, ou seja, cada filtro é lavado de 48 em 48 horas. O volume gasto para a realização desta operação é de 80 m³ de água tratada por filtro.

Foram coletadas amostras mensais, de agosto de 2005 a junho de 2006, de água de lavagem de um dos filtros da ETA. O filtro estudado está diretamente ligado ao decantador analisado neste trabalho. Desta forma, tentou-se obter uma melhor relação entre o objeto em estudo e representatividade das amostras. As Tabelas 34 e 35 mostram os valores encontrados para os parâmetros analisados na água de lavagem de um dos filtros da ETA-Itabirito.

Tabela 34: Caracterização das amostras de água de lavagem do filtro da ETA-Itabirito (2005)

Parâmetros	Unidade	Coletas - 2005				
		Meses				
		Ago	Set	Out	Nov	Dez
Turbidez	uT	110	189	150	274	234
Cor	uH	1280	1367	1100	2500	1198
pH		7,5	7,1	5,5	7,9	7,5
Alcalinidade	(mg/L de CaCO ₃)	34,2	37	13,8	42,8	22
Dureza	(mg/L de CaCO ₃)	69,9	NR	NR	43,7	56
DQO	(mg/L)	35	44,8	55	67,9	30
Sólidos Totais	(mg/L)	456	367	498	772	432
Sólidos Totais Fixos	(mg/L)	342	137	395	350	300
Sólidos Totais Voláteis	(mg/L)	243	220	335	360	321
Sólidos Suspensos Totais	(mg/L)	222	250	299	352	256
Sólidos Suspensos Fixos	(mg/L)	173	210	253	310	166
Sólidos Suspensos Voláteis	(mg/L)	30	30	57	76	27
Metais (mg/L)	Fe	NR	700	742	852	486
	Mn	1,03	2,19	1,96	3,76	2,1
	Ca	65,1	95,6	89,2	67	45
	Mg	NR	22,8	NR	21	NR
	Pb	0,51	0,58	0,52	0,43	1,1
	Cd	0,01	0,01	ND	ND	0,01
	Ni	0,43	0,35	NR	NR	0,43
	Cu	0,32	0,35	NR	NR	0,32
	Al	341	289	146	271	231

ND – Não detectado

NR – Não realizado

Tabela 35: Caracterização das amostras de água de lavagem do filtro da ETA-Itabirito (2006)

Parâmetros	Unidade	Coletas - 2006				
		Meses				
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai

Turbidez	uT	341	278	271	151	121	138
Cor	uH	1311	1280	1762	1618	1121	1321
pH		7	7	7,9	7,5	7	7,1
Alcalinidade	(mg/L de CaCO ₃)	34	23	19	20	23	15
Dureza	(mg/L de CaCO ₃)	NR	NR	NR	46	NR	NR
DQO	(mg/L)	41	31	34	32	39	26
Sólidos Totais	(mg/L)	197	318	572	431	389	431
Sólidos Totais Fixos	(mg/L)	341	214	417	333	156	145
Sólidos Totais Voláteis	(mg/L)	213	231	342	222	187	177
Sólidos Suspensos Totais	(mg/L)	210	340	360	211	231	200
Sólidos Suspensos Fixos	(mg/L)	190	193	200	177	211	196
Sólidos Suspensos Voláteis	(mg/L)	49	57	67	34	35	31
Metais (mg/L)	Fe	721	742	852	561	687	541
	Mn	2,1	2	2,5	1,9	3	3
	Ca	NR	NR	67	NR	NR	NR
	Mg	22,8	NR	21	NR	25	31
	Pb	0,6	NR	0,6	0,9	0,9	NR
	Cd	0,01	ND	ND	0,1	0,09	NR
	Ni	0,35	NR	NR	NR	NR	NR
	Cu	0,35	NR	NR	0,43	NR	NR
Al		261	245	231	141	167	131

ND – Não detectado

NR – Não realizado

Observam-se valores consideráveis para os metais Fe e Al. Estes valores podem identificar uma baixa eficiência do processo de decantação, uma vez que os flocos formados na etapa de floculação podem não se decantar e são, conseqüentemente, direcionados à etapa de filtração. Este fato ocorre, principalmente, nos períodos que antecedem a lavagem dos decantadores. Nestes períodos, observar-se um expressivo arraste de material não decantado para os filtros da estação. Este fato pode ser observado na Figura 56.



Figura 56: Arraste de flocos não decantados para os filtros da ETA-Itabirito

Atualmente a ETA-Itabirito trabalha com uma vazão acima do valor de projeto. Com isto, a tratabilidade da água pode ser influenciada negativamente, de modo a não promover uma eficiente clarificação da água bruta. Desta forma, os filtros da estação tendem a estar sobrecarregados, diminuindo assim sua eficiência e aumentando a rotina de lavagem. Este fato gera um maior consumo de água e um maior volume de resíduos na operação de lavagem dos filtros da estação.

Considerando-se os valores de sólidos totais determinados nas amostras da água de lavagem dos filtros, é possível estimar a massa de lodo produzida por esta etapa. Tomando-se a média dos valores de sólidos totais (442 mg/L) e o valor do volume gasto para a lavagem de cada filtro da estação (80 m³), obtém a massa de lodo produzida. Estes dados são apresentados na Tabela 36:

Tabela 36: Estimativa da massa de lodo gerada na etapa de lavagem dos filtros da ETA-Itabirito

ANO	MÊS	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)	MÉDIA (mg/L)	VOLUME DE	
				ÁGUA GASTO NA LAVAGEM DO FILTRO (m ³)	MASSA DO LODO PRODUZIDA (TON)

2005	AGOSTO	456			
2005	SETEMBRO	367			
2005	OUTUBRO	498			
2005	NOVEMBRO	772			
2005	DEZEMBRO	432			
2006	JANEIRO	197	442	80	12,9
2006	FEVEREIRO	318			
2006	MARÇO	572			
2006	ABRIL	431			
2006	MAIO	389			
2006	JUNHO	431			

16. Comparação entre os valores de massa de lodo determinados pelas fórmulas empíricas e o valor medido

A Tabela 37 apresenta os valores de massa de lodo calculados pelas fórmulas empíricas e o valor de massa de lodo medido experimentalmente.

Tabela 37: Valores de massa de lodo produzida (fórmulas) e o valor medido

Produção de lodo segundo:	Massa de lodo (TON)
Kawamura	81,1
Cornwell	83,3
WRC	66,9
AWWA	64,0
Richter	77,3
Medido	25,3

Observando-se a Tabela 37, os valores de produção de lodo obtidos com as informações fornecidas pela ETA-Itabirito, em comparação com os valores calculados empiricamente, apresentam diferenças. Existem alguns inconvenientes para a realização de medições das quantidades de lodo “in loco”. Quando há remoção mecânica dos lodos, torna-se mais factível realizar as medições de vazão de lodo (massa de sólidos secos acrescida do volume de água descartada que atua como veículo da massa de sólidos) por tratar-se de um processo contínuo ou semi-contínuo. Quando a remoção do

lodo é executada através de lavagens manuais, caso da ETA-Itabirito, não se tem o controle do volume de água utilizado, com isso, o controle específico sobre todo o processo é dificultado.

Após a determinação dos volumes de lodo líquido descartados, necessita-se proceder a ensaios de laboratório para a determinação da massa ou porcentagem de massa de sólidos secos presente no descarte. Mais uma vez esbarra-se em outro problema, que é coletar amostras de lodo significativas, já que, principalmente quando o processo de descarga de decantadores é por batelada, as características do lodo removido não permanecem constantes, variando sobremaneira a porcentagem de sólidos presentes nas diversas fases da execução de remoção dos lodos.

Normalmente, para as ETAs de médio porte, não se dispõe dos dados de sólidos suspensos, porém dispõe-se dos valores de turbidez, determinados através de análises diárias. Dessa maneira, podem ser utilizadas correlações entre sólidos suspensos e turbidez. O ideal seria determinar essas correlações através de ensaios, que nem sempre se encontram disponíveis, recorrendo-se, então, a valores tradicionalmente empregados, os quais podem não traduzir fielmente a realidade, fonte de mais uma imprecisão.

Além disso, as quantidades de lodo geradas na ETA-Itabirito variam sazonalmente, de acordo com os períodos de seca ou chuva que influem na qualidade da água bruta e conseqüentemente nas quantidades de produtos químicos utilizados.

Um importante fator a ser considerado para a obtenção de um menor valor de massa de lodo medido, é o fato de que pela permanência do lodo por um período de, aproximadamente, um ano no decantador, a matéria orgânica presente no mesmo pode decompor-se, o que contribui para uma diminuição da massa do lodo no decantador. Além disso, ocorre o significativo desprendimento do material decantado (arraste do lodo) que antecede a lavagem dos decantadores. Este desprendimento pode acarretar em considerável perda de material, uma vez que a lavagem dos decantadores não ocorre de maneira imediata à observação do arraste do lodo, podendo levar dias ou até semanas após a verificação do desprendimento.

A partir dos resultados apresentados, pode-se verificar a grande variabilidade nos quantitativos de lodos gerados ao longo do período de estudo na ETA-Itabirito. Normalmente, há maior produção de lodo no período chuvoso, que vai de novembro a março, época em que há piora na qualidade geral das águas dos mananciais, representada pelos parâmetros turbidez e cor, necessitando, conseqüentemente, da aplicação de maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento, notadamente

de coagulantes. A Figura 57 mostra a relação entre os valores de massa de lodo determinados através das fórmulas empíricas e o valor medido “in loco”.

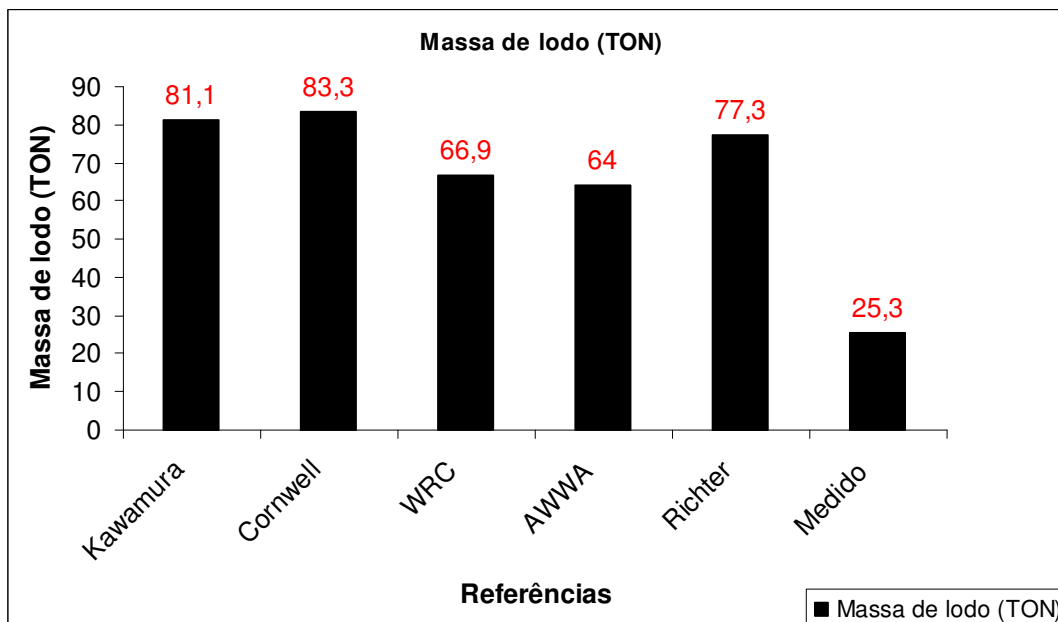


Figura 57: Comparação entre as massas de lodo produzidas (fórmulas) e a medida

17. Relação entre a expansão da ETA-Itabirito e tratabilidade dos resíduos gerados

A ETA-Itabirito sofrerá significantes alterações em função de sua expansão. A vazão de trabalho será de 200L/s. Será construído mais um filtro na estação e os decantadores serão de fluxo laminar. No projeto de expansão, não foram considerados aspectos referentes ao tratamento dos resíduos da ETA. Isto mostra a ainda incipiente maneira com a qual os administradores de serviços de saneamento enxergam os resíduos gerados pelas estações e o pouco conhecimento acerca de seu potencial poluidor.

Contudo, esforços deverão ser feitos no sentido de adequar a expansão, conjugando-a ao tratamento dos resíduos gerados na estação. Desta forma, se fará um balanceamento entre as necessidades de abastecimento e qualidade de água com a proteção ambiental.

18. CONCLUSÕES

Os trabalhos realizados para a caracterização e quantificação dos resíduos gerados pela ETA-Itabirito, permitiram concluir que:

- O lodo da ETA-Itabirito é classificado como resíduo sólido Classe II – não inerte, segundo as normas da ABNT.

- A maior parte do volume de resíduos gerados pela ETA-Itabirito é proveniente das lavagens dos filtros da estação.

- Os filtros da estação trabalham sobrecarregados, tendo-se em vista que a ETA-Itabirito é operada com uma vazão superior à vazão de projeto e devido a ocorrência de arraste de material não decantado para os filtros.

- O lodo do decantador, por conter metais pesados, pode apresentar riscos ao operador no momento da lavagem devido ao contato direto entre lodo-operador.

- O lodo obtido apresentou grande quantidade de metais, sendo Fe e o Al os metais encontrados em maiores concentrações. Além destes foram encontrados outros elementos potencialmente nocivos, mostrando que se deve tomar precauções quanto à disposição dos resíduos.

- Os resultados encontrados para a quantificação dos resíduos gerados na ETA-Itabirito diferem dos valores encontrados pelos modelos propostos na literatura. Isto mostra a necessidade de conhecimento das características do lodo de cada estação de tratamento de água, além de ser útil como uma ferramenta para avaliação do processo de tratamento.

- Para estimativa da geração futura de lodo, tem-se o conhecimento que poderá haver alterações das quantidades e características dos lodos gerados devido tanto a modificações dos processos de tratamento que possam ocorrer na ETA-Itabirito quanto a alterações das características de qualidade das águas dos mananciais utilizados. A

efetiva implantação de programas de recuperação e conservação dos mananciais podem traduzir-se em menores quantidades de resíduos gerados na ETA-Itabirito, assim como uma crescente degradação de qualidade das águas aduzidas certamente irá traduzir-se em aumento das quantidades destes resíduos.

- Outra consideração a ser feita sobre as estimativas futuras da geração dos lodos a serem dispostos, é a possibilidade da ocorrência de evolução tecnológica dos métodos e equipamentos de desidratação, contribuindo com a diminuição dos volumes de lodo produzidos.

- A utilização do “*by pass*”, como alternativa de minimização do volume de lodo gerado nos decantadores, torna-se uma opção viável, uma vez que por um longo período do ano a água bruta apresenta baixa turbidez.

- Não necessariamente existe uma única solução a ser adotada. Pode ser viável adotar-se mais de uma alternativa, para uma mesma ETA, de modo que as alternativas escolhidas se complementem e possam ser utilizadas ao mesmo tempo ou em diferentes épocas de acordo com as variações de quantidade e qualidade dos lodos gerados. É interessante e providencial ter-se sempre a alternativa de envio do lodo a aterros sanitários, por ser viável tecnicamente e possuir regulamentação pelas legislações ambientais vigentes. O aterro é uma opção de armazenamento dos lodos numa eventual paralisação da alternativa escolhida.

19. RECOMENDAÇÕES FINAIS

De acordo com as conclusões obtidas com este trabalho, é recomendado que:

- Sejam realizados estudos visando a recuperação dos resíduos das ETAs, pois representa uma significativa parcela de água que pode ser recuperada.

- Sejam realizados estudos visando a caracterização dos resíduos de ETAs sob o aspecto microbiológico, com vistas à avaliação do potencial poluidor.

- Sejam propostos estudos verificando, através da recirculação dos sobrenadantes dos processos de clarificação da água de lavagem dos filtros, a possibilidade de um efeito cumulativo no leito filtrante dos elementos presentes nestes sobrenadantes, podendo proporcionar transpasse, causando contaminação da água tratada.

- A realização de estudos visando a recuperação do sulfato de alumínio, pois esta alternativa, além de reduzir o volume de lodo gerado pela ETA, possui a vantagem da possibilidade de reutilização do coagulante na ETA ou em outras aplicações.

- Realização de estudos para a melhora da eficiência de dosagem do coagulante utilizado pela ETA-Itabirito, com vistas à diminuição do volume de lodo gerado.

- Realização de estudos para a avaliação da utilização da área externa da ETA-Itabirito para a implantação de alternativas de tratamento e reuso dos resíduos gerados pela estação.

- Há a necessidade de estabelecimento de legislações ambientais específicas conforme os estudos sobre características e usos dos lodos forem progredindo, de forma a regulamentar os novos usos disponíveis.

- A implementação de melhorias no tratamento de água e os investimentos na recuperação e conservação dos mananciais podem diminuir dosagens de coagulante e minimizar quantidades de lodos gerados. Deve se ter como ideal a busca da minimização de geração dos resíduos.

20. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Water Works Association; American Society of Civil Engineers; U. S. Environmental Protection Agency (1996). Management of water treatment plant residuals. American Society of Civil Engineers. 294 p. New York.

ASCE, AWWA, EPA (1996). Management of Water Treatment Plant Residuals. EUA.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR - 10.004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004(a). 33p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR - 10.005: Lixiviação de resíduos. Rio de Janeiro, 2004(b). 10p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR - 10.006: Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro, 2004(c). 2p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR - 10.007: Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 2004(d). 33p.

Netto, A.; José, M. (1987). Técnicas de Abastecimento e Tratamento de água. São Paulo. CETESB.

AWWA (1991). Coagulant Recovery: A Critical Assessment. EUA: AWWA Research Foundation.

Barbosa, A. B. D. (1997). A Experiência da CAESB em Recuperação de Água de Lavagem de Filtros e Desidratação de Lodo de ETA. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu.

Barbosa, R. M. (2000). A toxicidade de despejos (lodos) de estações de tratamento de água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustácea). IN: XXVII. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre-RS.

Bidone, F. R. A.; Castro, C. M. B.; Aboy, N. (1997). Monitoramento de parâmetros físico-químicos de lodos de ETAs durante a sua ação em leitos de secagem com diferentes espessuras de leito drenante. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu-PR.

Castro, A. A.; Dias, A. M. V.; Rennó, C. R. A.; César, L.A.S; Damattos, M; Monterio, T. A. S (1997). O problema da Caracterização Qualitativa e Quantitativa dos Efluentes Gerados nas Estações de Tratamento de Água – O Caso da Unidade de Tratamento e Recuperação de Resíduos – UTR do Sistema Rio das Velhas. Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19. Anais Eletrônicos II – 059. Foz do Iguaçu. Brasil.

CEN (1997). Chemicals Used for Treatment of Water Intended for Human Consumption – Aluminium Sulfate. EN 878.

CEN (1996). Chemicals Used for Treatment of Water Intended for Human Consumption – Iron (III) Sulfate. EN 890.

Cheremisinoff, P. N. (1995). Process Engineering Handbook Series: Solids/Liquids Separation. EUA: Technomic.

Cordeiro, J. S. (1981). Disposição, tratabilidade e reúso de lodos de estações de tratamento de água. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 155 p. São Carlos.

Cordeiro, J. S. (1993). O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água. Tese de Doutorado - SHS - EESC / USP - 342p. São Carlos,

Cordeiro, J. S; Campos, J. R. (1999). O impacto ambiental provocado pela indústria da água. Saneamento Ambiental – n.56.

Cornwell, D. A.; Leer, R. G. (1994). Waste stream recycling: its effect on water quality. Journal AWWA, p. 50-63, nov.

Cornwell, D. A. (1987). Handbook of practice water treatment plant waste management. American Water Works Association Research Foundation, Denver, 431p. 1 ed., Virginia.

Cornwell, D. A.; Koppers, H. M. M. (1990). Slib, Schlamm, Sludge. EUA: AWWA Research Foundation/KIWA Ltd.

Cornwell, D. A.; Mutter, R. N.; Vandermeijden, C. (1999). Commercial application and marketing of water plant residuals. Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation; American Water Works Association.187p.

Dayton, E. A.; Basta, N. T. (2001). Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. J. Water Environment Research, vol. 73. Water Environment Federation.

Demattos, M.; Costa, G. J.; Fonseca, D. A.; Braga, J. P. C.; Janzen, W. (2001). Redução do volume de lodo gerado em estações de tratamento de água – a proposta de recuperação do coagulante pelo processo de acidificação no sistema Rio Manso. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro.

Dharmappa, H. B.; Hasia, A.; Hagare, P. (1997). Water treatment plant residuals management. In: Wat. Sci. Tech. Vol. 35, n. 8, p. 45-56.

Di Bernardo, L. (1993). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Volumes I e II. Associação Brasileira de engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 481 p. Rio de Janeiro.

Di Bernardo, L.; Scalize, P. S.; Souza, F. A. G. (1999). Água de lavagem de filtros rápidos. In: Reali, M.P., coord. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. ABES. Cap. 7, p. 143-168, Rio de Janeiro.

Droste, R. (1997). Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. John Wiley & Sons. 800 p. New York.

Elliott, H. A. (1990). Land application of water treatment sludges: impact and management. AWWARF, 99p.

Fernandes, A. N.; Ferreira, F. S. S. (2003). Balanço de Massa e Produção de Lodo da Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista - SABESP. In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Santa Catarina-SC.

Ferreira, F. S. S.; Sobrinho, P. A. (1997). Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 3, n. 3 e 4.

Filho, A. G. S.; Di Bernardo, L. (1999). Caracterização e clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro.

Freitas, J. G. (2004). Viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes a partir de lodos gerados em estações de tratamento de água. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Grabarek, R. J.; Krug, E. C. (1987). Silvicultural application of alum sludge. Journal AWWA, v. 9, n. 6, p. 84-88, jun.

Grandin, S. R. (1992). Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água. São Paulo. Dissertação - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 456p.

Grandin, S. R.; Alem Sobrinho, P.; Garcia Jr., A. D. (1993). Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal-RN.

Hoppen, C. (2006). Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland para reduzir o impacto ambiental. Química Nova, Vol. 29, n. 1, 79-84.

James, C. R.; Omelia, C. R. (1982). Considering sludge production in the selection of coagulants. JAWWA, Denver, v. 74, n. 3, p. 148-151, mar.

Januário, G. F. (2004). Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das Estações de Tratamento de Água da Região Metropolitana de São Paulo. 222p. São Paulo.

Jesus, H. C.; Costa, E. A.; Mendonça, A. S. F.; Zandonade, E. (2004). Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. Química Nova, n. 27, 371.

Jordão, E. P.; Pessôa, C. A. (1995). Tratamento de esgotos sanitários. 3ª Edição. Rio de Janeiro. ABES.

Mandloi, M.; Chaudhari, S.; Folkard, G. K. (2004). Evaluation of Natural Coagulants For Direct Filtration. Environmental Technology. Inglaterra, Vol 25, n. 4, p. 481-489.

Mccurdy, K.; Carlson, K.; Gregory, D. (2004). Floc Morphology and Cyclic Shearing Recovery. Comparison of Alum and Polyaluminum Chloride Coagulants. Water Research. Grã Bretanha, Vol. 38, n. 2, p. 468-494.

Metcalf.; Eddy (1977). Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Madrid, Editorial labor, s.a.

Mota, G.; Paterniani, J. E. S. (2004). Eficiência da Semente de Moringa Oleífera como Coagulante em Tratamento de Água. In: XII Congresso Interno de Iniciação Científica: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas-SP.

Portela, K. F.; Andreoli, C.V.; Hoppen, C.; Sales, A.; Baron, O. (2003). Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville-SC.

Prosab (2001). Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Suprema Gráfica e Editora, 1ª edição. Curitiba-PR.

Reali, M. A. P. (1999). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto Prosab. ABES. Rio de Janeiro.

Reh, C. W. (1980). Disposal and handling of water treatment plant sludge. Journal AWWA, v. 72, n. 2, p. 115-118, fev.

Richter, C. A. (2001). Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo.

Santos, I. J.; Souza, M. A. A. (2001). Reúso de água: Uma análise da adequabilidade da utilização das águas residuárias tratadas no Distrito Federal. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES.

Saron, A.; Silva, E. P. (1997). Redução na dosagem de sulfato de alumínio na ETA Guarau com a utilização do sistema de recuperação de água de lavagem de filtros. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu-PR. Anais eletrônicos II-011. Rio de Janeiro. ABES. p. 1088-1095.

Scalize, P. S. (1997). Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos

- Universidade de São Paulo - USP. 220 p. São Carlos.

SEREC (1987) – Serviços de Engenharia Consultiva Ltda. Estudo de concepção para a recuperação das águas de lavagens, tratamento e disposição de resíduos das ETAs da RMSP. V.1-3.

Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (1998). American Public Health Association – APHA.

Tsutuya, M. T.; Hirata, A. Y. (2001). Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa-PB.

Valencia, J. A. (1992). Teoria y Pratica de la Purificacion del Agua. Asociación Colombiana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental – ACODAL. 684p.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)