



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

## ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DA ETA LARANJAL/RJ

Juliana Jerônimo Smiderle

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Iene Christie Figueiredo

Rio de Janeiro

Setembro de 2016

# ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DA ETA LARANJAL/RJ

Juliana Jerônimo Smiderle

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por

---

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Iene Christie Figueiredo, D. Sc.

---

Prof. Isaac Volschan Junior, D. Sc.

---

Prof.<sup>a</sup> Katia Monte Chiari Dantas, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

SETEMBRO DE 2016

Smiderle, Juliana Jerônimo

Estudo de Viabilidade para Destinação Final do Lodo da  
ETA Laranjal/RJ / Juliana Jerônimo Smiderle – Rio de  
Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2016.

VII, 82 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Iene Christie Figueiredo

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /

Curso de Engenharia Civil, 2016

Referências Bibliográficas: p. 82-86

1. Lodo. 2. ETA. 3. Manejo de Lodo. 4. Estudo de  
Viabilidade Econômica. I. Figueiredo, Iene Christie. II.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,  
Curso de Engenharia Civil. III. Estudo de Viabilidade Econômica  
do Manejo para a Destinação Final do Lodo da ETA  
Laranjal/RJ.

Aos meus pais,

pelo amor incondicional e por sempre  
terem incentivado os meus estudos.

À minha avó Alice, tia Graça e avô Manoel  
(*in memoriam*),

pelo maior exemplo de dedicação e amor.

## Agradecimentos

À Deus, pela dádiva da vida e do raciocínio.

À minha família, pelo total apoio as minhas decisões e pelo suporte de todos os dias.

À minha orientadora Iene, por ser uma das melhores professoras que já tive, pelos diversos encontros para discutirmos sobre este trabalho e por compartilhar seus conhecimentos e experiências. Muito obrigada.

A todos os professores da Escola Politécnica, especialmente aos do DRHIMA, pela dedicação e esforço para passar os conhecimentos técnicos para nos tornarmos bons engenheiros.

Aos amigos que a UFRJ permitiu que eu conhecesse, pelo companheirismo, pela paciência, pelas horas de estudos juntos e pela resiliência adquirida nesses anos de faculdade.

À Elisa e ao Eduardo, engenheiros da CEDAE, pelas conversas e discussões que me proporcionaram momentos de reflexão incríveis sobre a indústria do saneamento.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro.

## ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DA ETA LARANJAL/RJ

Juliana Jerônimo Smiderle

Setembro/2016

Orientadora: Iene Christie Figueiredo

Curso: Engenharia Civil

Com o crescimento populacional, principalmente nas cidades, há o aumento da demanda por água potável. Consequentemente, há também o aumento da geração de resíduos nas estações de tratamento de água, ETA. Este resíduo, também chamado de lodo, é proveniente da necessidade de remoção de sólidos e outros poluentes da água dos mananciais para a sua potabilização.

O lodo, atualmente, caracteriza-se como um passivo ambiental das ETAs, pois em sua maioria este resíduo é lançado em corpos hídricos. Isto pode causar assoreamento e aumento da concentração de metais na água, dentre outros impactos. Somado a isso, aspectos legais reforçam a necessidade de repensar esta maneira de gerenciar o lodo. Portanto, o presente trabalho discute sobre as possibilidades de manejo ambientalmente adequado do lodo de ETAs e realiza estudo de viabilidade econômica de três alternativas de destinação para o lodo da ETA Laranjal/RJ, sendo elas: disposição em aterro sanitário, reciclagem na produção de material cerâmico e reciclagem na produção de bloco de concreto. Além disso, faz uma discussão sobre o arcabouço legal pertinente ao tema.

Concluiu-se com este estudo que o encaminhamento para indústria cerâmica é a alternativa com menor custo de destinação final do lodo da ETA Laranjal. Verificou-se, também, a necessidade de atualização das normas técnicas existentes e a adequação dos padrões de lançamento para as características mais importantes do lodo de ETA.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

## ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF LARANJAL WTP/RJ SLUDGE FINAL DESTINATION

Juliana Jerônimo Smiderle

September/2016

Advisor: Iene Christie Figueiredo

Course: Civil Engineering

Population growth, especially in cities, increases the demand for drinking water. Consequently, the generation of waste in water treatment plants (WTP) also increases. This waste, also known as sludge, comes from the need to remove solids and other pollutants from water sources for their purification.

The sludge is currently characterized as a WTP environmental liability because, in general, this waste is released in water bodies. This may cause sedimentation and increase of metal concentration in the water, among other impacts. Besides, legal aspects reinforce the need to rethink this way of managing the sludge. Therefore, this paper discusses the possibilities of environmentally sound management of WTP sludge. The economic feasibility study of three final destination alternatives for sludge from Laranjal WTP is also done. The alternatives are disposal in landfill, recycling in ceramic materials production and recycling in concrete block production. Furthermore, it discusses about legal requirements associated to this topic.

This study concluded that sending ETA Laranjal sludge to a ceramic industry is the lower-cost alternative to its final destination. It was also reasoned that current technical standards should be updated and the standard for effluent discharge should be adjusted in accordance with WTP sludge relevant characteristics.

## Sumário

1. Introdução.....	1
2. Objetivo .....	2
3. Revisão Bibliográfica .....	3
3.1. Qualidade da Água.....	3
3.2. Tratamento de Água.....	4
3.3. Resíduos do Tratamento de Água.....	14
3.3.1. Considerações sobre Tratamento do Lodo .....	21
3.3.2. Destino final do lodo .....	22
3.3.2.1. Lançamento em cursos d'água.....	25
3.3.2.2. Lançamento na rede de esgotos sanitários/ETE .....	29
3.3.2.3. Aplicação no solo .....	30
3.3.2.4. Disposição em aterro sanitário .....	31
3.3.2.5. Reciclagem na indústria cerâmica .....	33
3.3.2.6. Reciclagem na indústria do concreto.....	40
3.4. Legislação .....	47
3.5. Unidade de Estudo – ETA Laranjal.....	52
4. Metodologia .....	63
4.1. Quantificação do lodo da ETA Laranjal .....	63
4.2. Seleção do destino final do lodo.....	63
4.2.1. Aterro Sanitário .....	64
4.2.2. Indústria de Cerâmica.....	65
4.2.3. Indústria de Concreto.....	67
4.3. Estudo de Viabilidade Econômica .....	69
4.3.1. Custo de transporte do lodo.....	70
4.3.2. Custo com disposição no aterro sanitário.....	71

4.3.3. Cálculo do valor presente do custo total do manejo do lodo .....	72
4.4. Análise da Legislação.....	72
5. Resultados e Discussões.....	73
5.1. Estudo de Viabilidade Econômica .....	73
5.1.1. Disposição em Aterro Sanitário.....	73
5.1.2. Reciclagem em Bloco Cerâmico .....	74
5.1.3. Reciclagem em Bloco de Concreto .....	75
5.1.4. Comparação entre os Estudos de Viabilidade Econômica .....	76
5.2. Análise Crítica dos Aspectos da Legislação .....	77
6. Conclusão e Recomendações .....	79
7. Referência Bibliográfica .....	82

## Índice de Figuras

- Figura 1 – Fluxograma típico de tratamento convencional de água
- Figura 2 - Principais características físico-químicas dos lodos de decantadores de ETAs da RMSP
- Figura 3 - Dados de produção diária de resíduos na ETA 1 do Sistema Laranjal/RJ
- Figura 4 – Valores de DQO antes e depois do lançamento do lodo no córrego
- Figura 5 – Valores de sólidos totais e depois do lançamento do lodo no córrego
- Figura 6 – Valores de sólidos sedimentáveis antes e depois do lançamento do lodo no córrego
- Figura 7 – Valores de pH antes e depois do lançamento do lodo no córrego
- Figura 8 – Valores de cor antes e depois do lançamento do lodo no córrego
- Figura 9 - Fluxograma do processamento e produção da cerâmica vermelha
- Figura 10 - Coloração de tijolo fabricado com e sem a incorporação de lodo de ETA
- Figura 11 - Difratograma das amostras de concreto com e sem a adição de lodo
- Figura 12 - Área de atendimento da ETA Laranjal
- Figura 13 - Localização ETA Laranjal
- Figura 14 - Planta geral da ETA Laranjal
- Figura 15 - Unidades da ETA nº1 onde são realizados os processos de coagulação, floculação e decantação
- Figura 16 - Planta baixa ETA nº1 do complexo da ETA Laranjal
- Figura 17 - Fluxograma da situação atual na ETA nº1 do sistema Laranjal
- Figura 18 - Fluxograma da solução proposta para adequado manejo do lodo na ETA nº1 do sistema Laranjal
- Figura 19 - Rota da ETA Laranjal até a CTR - São Gonçalo
- Figura 20 - Rota da ETA Laranjal até a Cerâmica Monjolos
- Figura 21 - Rota da ETA Laranjal até a fábrica de blocos de concreto Consist
- Figura 22 - Caminhão poliguindaste com caçamba tipo Dempster de 7 m<sup>3</sup>

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Classificação e uso de água doce segundo CONAMA 357 .....	4
Tabela 2 – Classificação das águas naturais para abastecimento segundo NBR 12.216 .....	6
Tabela 3 – Função e descrição dos processos do tratamento convencional de água (parte 1).....	11
Tabela 4 - Função e descrição dos processos do tratamento convencional de água (parte 2).....	12
Tabela 5 - Características das amostras compostas de água de lavagem de filtro e da limpeza de decantador.....	16
Tabela 6 - Características do lodo de coagulantes a base de sal de alumínio .....	18
Tabela 7 - Características do lodo de coagulantes a base de sal de ferro .....	18
Tabela 8 - Vazão de água tratada por ETA.....	19
Tabela 9 - Destinação final dos lodos de ETAs no Brasil .....	24
Tabela 10 – Localização dos pontos de coleta de amostras do estudo sobre impacto do lançamento de lodo de decantadores da ETA São Carlos/SP .....	26
Tabela 11 - Estimativa de custo para disposição de lodo em aterro sanitário na RMRJ por faixa de teor de sólidos .....	32
Tabela 12 - Estimativa de custo para disposição de lodo em aterro sanitário na RMSF .....	32
Tabela 13 - Composição química da argila não plástica, argila plástica e lodo de ETA .....	33
Tabela 14 - Caracterização físico-química do lodo da ETA Meia Ponte .....	37
Tabela 15 - Dosagens de lodo e argila para a fabricação de blocos cerâmicos na experiência de Dias (2004) .....	38
Tabela 16 - Resultado ensaio de planeza de face, desvio em relação ao esquadro e avaliação visual .....	38
Tabela 17 - Classificação dos blocos cerâmicos com relação a resistência à compressão .....	39
Tabela 18 - Propriedades do concreto fresco no estudo de dosagem.....	41
Tabela 19 - Resultado do ensaio de resistência à tração por flexão e por compressão diametral para concreto com 4% e 8% de lodo de ETA .....	44
Tabela 20 - Principais condições e padrões de qualidade de águas doces.....	49
Tabela 21 - Condições de lançamento de efluente .....	50
Tabela 22 - Remoção mínima de DBO dos efluentes industriais .....	50

Tabela 23 – Alguns parâmetros do padrão de lançamento definido pela NT-202 .....	51
Tabela 24 - Valores mais restritivos dos principais parâmetros de lançamento de lodo de ETA .....	51
Tabela 25 - Detalhes da operação da ETA nº1 Laranjal .....	58
Tabela 26 - Análise estatística dos principais parâmetros das água residuais geradas na ETA Laranja.....	59
Tabela 27 - Estimativa de volume de lodo gerada pela ETA nº1 por linha geradora ...	60
Tabela 28 - Dados de produção diária de lodo na ETA nº1 .....	61
Tabela 29 - Características do resíduo da ETA nº1 do sistema Laranjal nas duas situações .....	62
Tabela 30 - Características do lodo para estudo de viabilidade econômica .....	63
Tabela 31 - Distância entre CTR e ETA Laranjal .....	64
Tabela 32 - Distribuição de empresas cerâmicas no polo de Itaboraí .....	66
Tabela 33 - Distância entre a ETA Laranjal e Cerâmicas .....	66
Tabela 34 - Fabricantes de blocos vazados de concreto com selo de qualidade no Estado do Rio de Janeiro.....	67
Tabela 35 - Distância entre a ETA Laranjal e fábricas de blocos de concreto no Estado do Rio de Janeiro com selo de qualidade emitido pela ABCP.....	68
Tabela 36 - Parâmetros para estudo de viabilidade econômica .....	73
Tabela 37 - Estudo de Viabilidade Econômica - destinação final: CTR São Gonçalo..	74
Tabela 38 - Estudo de Viabilidade Econômica - destinação final: Cerâmica Monjolos	75
Tabela 39 - Estudo de Viabilidade Econômica - destinação final: CONSIST .....	76
Tabela 40 - Resultado do Estudo de Viabilidade Econômica das três alternativas de destinação final.....	76

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ADD – Água de Descarga do Decantador

AGENERSA – Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro

ARLD – Água Residual da Lavagem do Decantador

ARLF – Água Residual da Lavagem do Filtro

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTR – Central de Tratamento de Resíduos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETR – Estação de Tratamento de Resíduo

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

MS – Ministério da Saúde

NBR – Norma Brasileira

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

## 1. Introdução

Com o crescimento populacional, principalmente nas cidades, há o aumento da demanda por água potável. Por outro lado, a falta de serviço de saneamento eficiente faz com que os mananciais superficiais tenham sua qualidade reduzida. Conseqüentemente, para tornar a água bruta em potável é necessário otimizar a operação das estações de tratamento de água (ETAs). Essas condições podem proporcionar aumento na geração de lodo nas ETAs (ANDREOLI, 2001).

A operação de uma estação de tratamento de água para sua potabilização, dada a necessidade de remoção de sólidos e outros poluentes, produz resíduo (lodo) durante o processo. A disposição final do lodo de ETA, no Brasil, é quase sempre um corpo hídrico (ANDREOLI, 2006).

Pode-se citar como impactos no corpo d'água que recebe o lodo de ETA como destino final o aumento da quantidade de sólidos, aumento de cor e turbidez, redução da penetração de luz e, conseqüentemente, diminuição da atividade fotossintética e concentração de oxigênio dissolvido, assoreamento, aumento da concentração de alumínio e ferro na água, dependendo do coagulante utilizado no tratamento da água bruta, entre outros (LIBÂNIO, 2010). Portanto, o lodo caracteriza um passivo ambiental da indústria do saneamento.

Há alguns anos a preocupação com a preservação do meio ambiente vem aumentando, com isso a legislação brasileira começou a exigir mudança de postura da indústria do saneamento com relação às questões ambientais relativas a este passivo, como, por exemplo, com a Lei 9.433 (BRASIL, 1997), que determina que o lançamento em corpo hídrico de resíduos líquidos, tratados ou não, para diluição, transporte ou disposição final está sujeito a outorga. Outro exemplo é a Lei 9.605 (BRASIL, 1998), que exige licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes para instalar e operar estabelecimentos ou serviços potencialmente poluidores. Segundo Dantas (2016), no Rio de Janeiro, o INEA começou a solicitar a outorga de lançamento de efluente de ETA a partir do segundo semestre de 2014.

Além disso, a partir da Política Nacional de Saneamento entende-se que há a necessidade de manejo integral do resíduo gerado em unidades de tratamento de água. No Estado do Rio de Janeiro, a AGENERSA deliberou que, para a prestação de serviços públicos de saneamento básico, as concessionárias serão responsáveis pela disposição dos lodos residuais e subprodutos do tratamento considerando a minimização dos impactos ambientais.

Assim, os gestores de estações de tratamento de água devem preocupar-se, além da qualidade do seu produto final, água potável, com o gerenciamento do lodo, visando sua destinação final adequada sem risco de passivo ambiental. Esse é o desafio que toda a indústria de saneamento está passando.

Como opção de destinação final adequada, tem-se a disposição em aterro sanitário, que tem alto custo. Outra opção é utilizar o potencial de aproveitamento do lodo, inserindo-o como matéria-prima no processo produtivo de alguns materiais, como cerâmica e cimento (DI BERNARDO e PAZ, 2008). Além do benefício financeiro devido a melhora na eficiência energética do tratamento, a reciclagem do lodo traria também benefício ambiental ao processo. Portanto, torna-se necessário verificar a viabilidade econômica dessas possibilidades de manejo.

## **2. Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar as opções de destinação final do lodo produzido na ETA Laranjal sob a perspectiva da indústria de saneamento.

Os objetivos específicos são:

- Comparar a viabilidade econômica das seguintes opções de destinação final: disposição em aterro sanitário, reciclagem na produção de material cerâmico e reciclagem na produção de concreto.
- Discutir como a legislação brasileira poderá controlar o padrão de lançamento e critérios para outorga de lançamento deste tipo de efluente.

### **3. Revisão Bibliográfica**

#### **3.1. Qualidade da Água**

A qualidade da água é resultante de condições naturais e antropogênicas. Pode-se representá-la por meio de parâmetros que definem suas características físicas, químicas e biológicas. Os principais parâmetros são (VON SPERLING, 2014):

- Parâmetros físicos: cor, turbidez, sabor e odor;
- Parâmetros químicos: pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos e micropoluentes orgânicos;
- Parâmetros biológicos: organismos indicadores de contaminação fecal (coliformes), algas e bactérias decompositoras.

Os requisitos de qualidade da água variam de acordo com seu uso previsto. A Resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005) classifica os corpos d'água e estabelece seus possíveis usos. Os corpos d'água são classificados por águas doces, salinas e salobras e são enquadradas em classes. Somente as águas doces podem ser usadas para abastecimento para consumo humano após tratamento. A Tabela 1 resume o conteúdo da citada resolução com relação às águas doces.

A Resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005) também determina a qualidade a ser mantida em cada classe de água. Para isso, ela define padrões de qualidade dos corpos receptores, que observa apenas o corpo hídrico. Já a resolução CONAMA 430 (CONAMA, 2011) dispõe sobre os padrões para o lançamento de efluentes nos corpos d'água, que observa o efluente e sua inter-relação com o corpo receptor, visando não alterar a qualidade necessária daquela classe de água (VON SPERLING, 2014).

Tabela 1 – Classificação e uso de água doce segundo CONAMA 357

Fonte: CONAMA (2005)

<b>Classe</b>	<b>Água Doce destinada a:</b>
Especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário*.
2	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário*; Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; Aquicultura e atividade de pesca.
3	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário*; Dessedentação de animais.
4	Navegação; Harmonia paisagística.

\* Conforme Resolução CONAMA nº 274 (CONAMA, 2000)

Quando qualidade de água é discutida, é importante também avaliar o corpo hídrico como receptor de efluente, que é um dos seus possíveis usos. Com o objetivo de controlar e manter a qualidade da água, existem padrões de lançamento de efluente, que estabelecem limites de concentrações de determinados parâmetros, tais como DBO, DQO, pH e alumínio. Este assunto será melhor discutido nos itens 3.3.2.1. e 3.5..

### **3.2. Tratamento de Água**

Segundo Libânio (2010), potabilização de águas naturais para abastecimento para consumo humano consiste em adequar a água bruta em parâmetros definidos pela Portaria 2.914. Ainda de acordo com Libânio (2010), o tratamento de água é o processo de remover substâncias prejudiciais a saúde humana presentes na água, como partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica e microorganismos, ao menor custo de implantação, manutenção e operação e com menor impacto ambiental.

Segundo essa portaria, água potável é a água para consumo humano que atenda ao padrão de potabilidade por ela estabelecido e que não ofereça riscos à saúde. O padrão de potabilidade consiste em um conjunto de parâmetros com valores permitidos determinados. Exemplos desses parâmetros são *Escherichia coli*, coliformes totais, turbidez, substâncias químicas que representam riscos à saúde como mercúrio, cianotoxinas, alumínio e pH. Existem diversas tecnologias para potabilização da água. Para definir qual tecnologia será empregada, Libânio (2010) e Richter e Netto (1991) sugerem observar os seguintes fatores:

- Características da água bruta;
- Localização geográfica;
- Disponibilidade de energia elétrica;
- Área do terreno;
- Facilidade de operação e manutenção dos equipamentos;
- Flexibilidade operacional;
- Custo de implantação, operação e manutenção;
- Disposição final do lodo.

NBR 12.216 (ABNT, 1992) indica o tratamento mínimo necessário a cada tipo de água. A definição de cada tipo de água encontra-se na Tabela 2. Para a água Tipo A, o tratamento mínimo necessário é desinfecção e correção do pH. Já para o Tipo B é além de desinfecção e correção do pH, decantação simples para água contendo sólidos sedimentáveis ou filtração, precedida ou não de decantação, para águas com turbidez < 40 UNT na entrada do filtro e cor < 20 unidades, referidas aos Padrões de Platina. Para o Tipo C é necessária coagulação, seguido ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção de pH. Por fim, para o Tipo D, além do tratamento mínimo do Tipo C, necessita-se de tratamento complementar apropriado a cada caso.

Destaca-se que a Portaria 2.914 (BRASIL, 2011) determina que toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deve passar por processo de desinfecção ou cloração. Outrossim, se a água for proveniente de manancial superficial deve, ainda, passar pelo processo de filtração. Com isso, verifica-se a necessidade de tratamento da água.

Tabela 2 – Classificação das águas naturais para abastecimento segundo NBR 12.216

Fonte: adaptado de ABNT (1992)

Tipo	Características				
	DBO 5 dias (mg/L)*	Coliformes máximo (NMP/100 ml)	pH	Cloretos	Fluoretos
<b>Tipo A</b> - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias sanitariamente protegidas	1 - 3	> 100 em menos de 5% das amostras	5 - 9	< 50	< 1,5
<b>Tipo B</b> - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias não-protegidas	3 - 4	> 5.000 em menos de 20% das amostras	5 - 9	50 - 250	1,5 - 3,0
<b>Tipo C</b> - águas superficiais provenientes de bacias não-protegidas	4 - 6	> 20.000 em menos de 5% das amostras	5 - 9	250 - 600	> 3,0
<b>Tipo D</b> - águas superficiais provenientes de bacias não-protegidas, sujeitas a fontes de poluição	> 6	-	3,8 - 10,3	> 600	-

Segundo dados do SNIS (2014), a maior parte da água de abastecimento humano no Brasil é tratada em estações de tratamento de água e é fluoretada. Uma pequena parcela é tratada por simples desinfecção. Os dados encontram-se nos Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3.

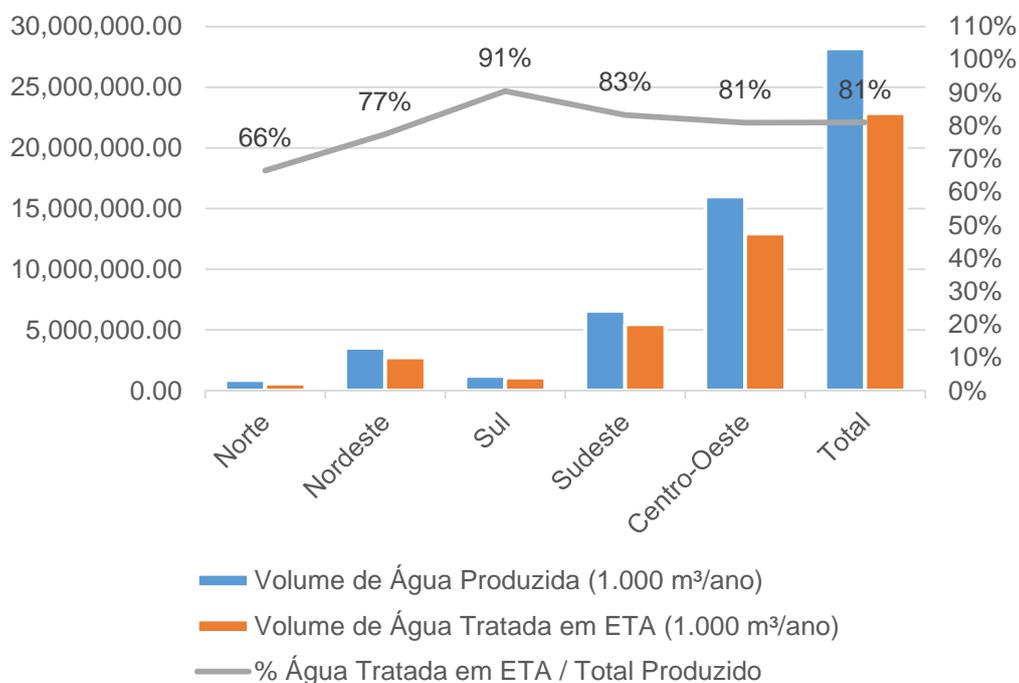


Gráfico 1 – Relação entre Volume de Água Produzido e Água Tratada em ETA  
 Fonte: adaptado de SNIS (2014)

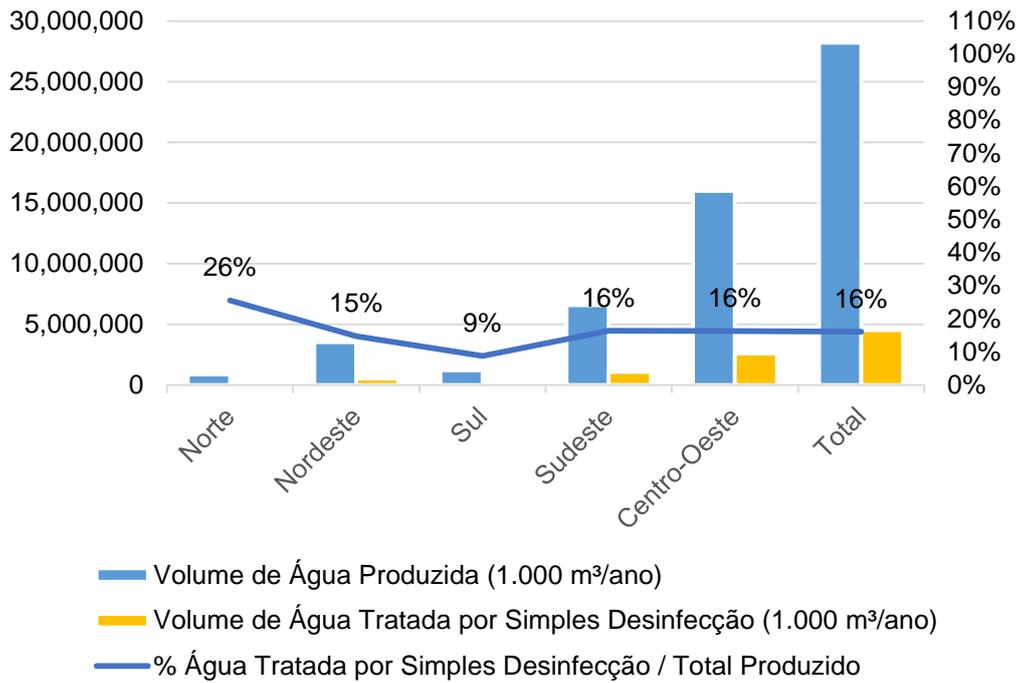


Gráfico 2 - Relação entre Volume de Água Produzido e Água Tratada por Simples Desinfecção  
 Fonte: adaptado de SNIS (2014)

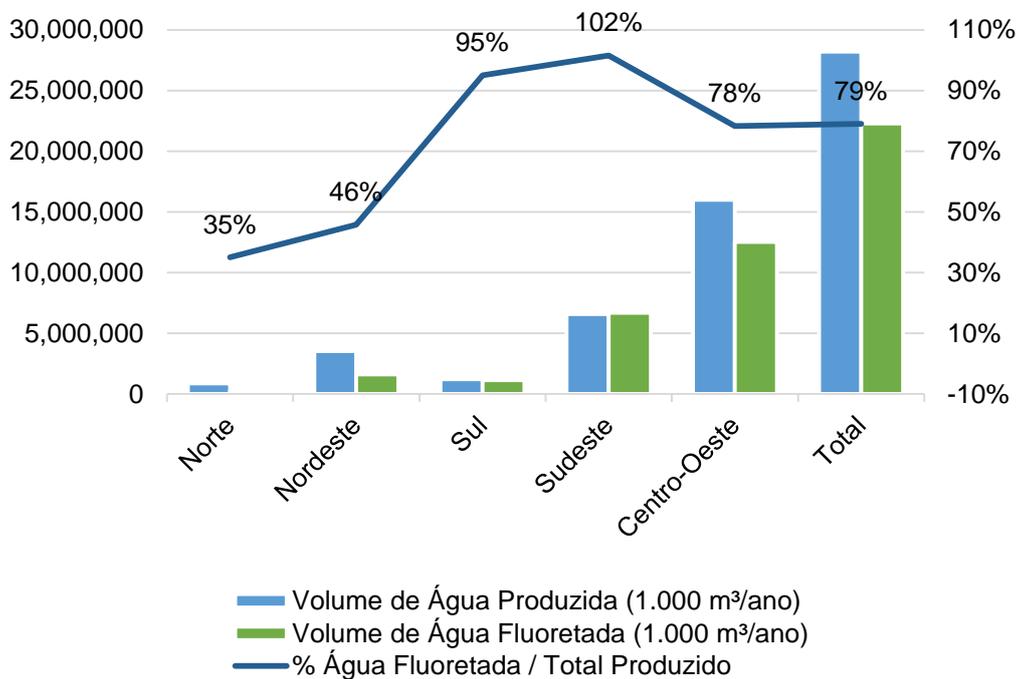


Gráfico 3 - Relação entre Volume de Água Produzido e Água Fluoretada  
 Fonte: adaptado de SNIS (2014)

Pode-se dividir o processo de tratamento de água em três fases, sendo elas: clarificação, filtração e desinfecção. A clarificação consiste nas etapas de coagulação, floculação e decantação ou flotação e visa a remoção dos sólidos suspensos e parte dos sólidos dissolvidos. Já a filtração, denominada barreira sanitária, tem o objetivo de remover sólidos dissolvidos e microorganismos. Finalmente, a desinfecção objetiva inativar os microorganismos ainda presentes na água, como bactérias e vírus. A determinação da necessidade das três fases supracitadas para o tratamento dependerá das características da água bruta (LIBÂNIO, 2010).

Tratamento convencional é definido por Richter e Netto (1991) como aquele que consiste nos seguintes processos em ordem de aplicação: coagulação química, floculação, sedimentação ou flotação, filtração e desinfecção (Figura 1). Além disso pode ser necessário a fluoretação e a correção do pH, caso esses parâmetros estejam fora do limite determinado pela Portaria 2.914.

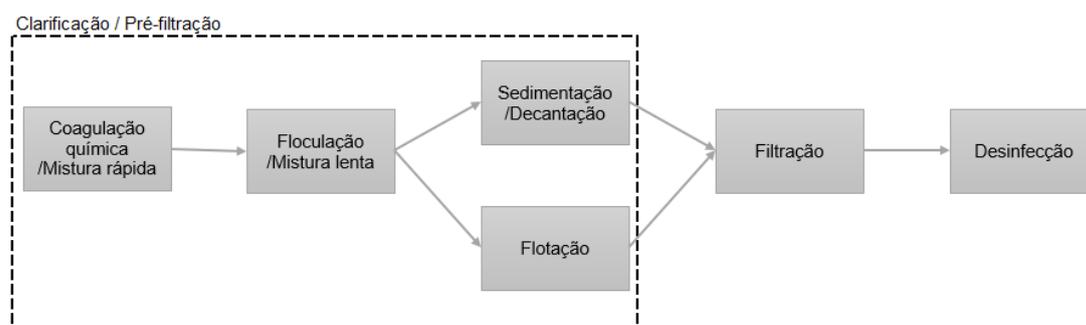


Figura 1 – Fluxograma típico de tratamento convencional de água

O tratamento convencional é o mais utilizado nas estações de tratamento de água nas grandes cidades do Brasil e do mundo, segundo Libânio (2010). Inclusive, é a tecnologia estabelecida para a potabilização da água em 10 estados americanos. O Gráfico 4 apresenta a porcentagem de estações operadas por companhias estaduais no Brasil que utilizam esta tecnologia.

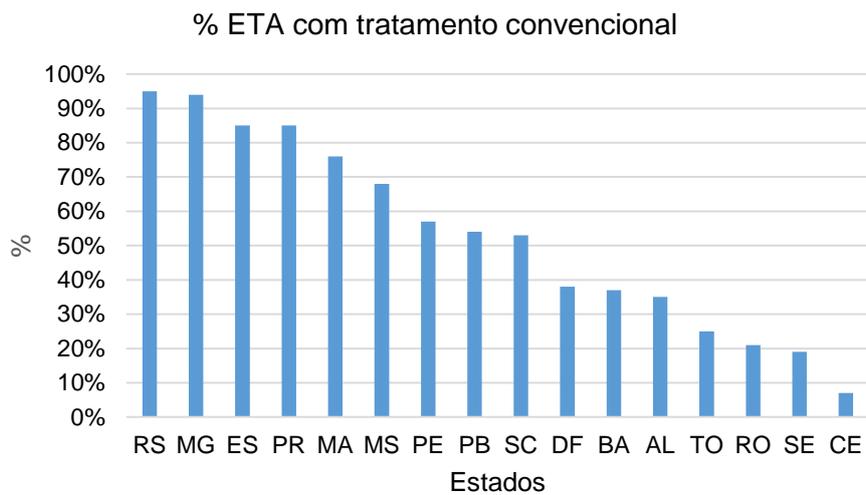


Gráfico 4 – Porcentagem de estações com tratamento convencional operadas por companhias estaduais de saneamento

Fonte: Libânio (2010)

As Tabelas 3 e 4 apresentam a função, descrição, *input* e *output* de cada uma das etapas do tratamento convencional.

Tabela 3 – Função e descrição dos processos do tratamento convencional de água (parte 1)

Fonte: adaptado de Libânio (2010) e Richter e Netto (1991)

<b>Processo /Operação Unitária</b>	<b>Função</b>	<b>Descrição</b>	<b>Entrada<sup>1</sup></b>	<b>Saída<sup>2</sup></b>
Coagulação química ou mistura rápida	Neutralizar as cargas dos coloides e, com isso, reduzir as forças que tendem a manter as partículas em suspensão afastadas	Adiciona-se coagulante a água com grau de agitação elevado e baixo tempo de detenção	Coagulante (normalmente um sal de alumínio ou de ferro) e polímero (redes que aglomeram os flocos)	-
Floculação ou mistura lenta	Aumentar o diâmetro e, conseqüentemente, o peso das partículas via formação de flocos	Estabelece-se condições no que diz respeito a tempo de detenção e grau de agitação para que haja contato entre as partículas	Produto Floculante (opcional)	-
Sedimentação /Decantação	Retirar partículas sólidas em suspensão da água para reduzir o afluxo de partículas aos filtros	São fornecidas condições no que diz respeito ao tempo de detenção e grau de agitação para que os flocos se depositem pela ação da gravidade. Há um equilíbrio entre a força da gravidade e a força de empuxo e atrito (viscosidade).	-	Resíduo (lodo)

<sup>1</sup> Entende-se por entrada os produtos adicionados a água em cada processo

<sup>2</sup> Entende-se por saída os subprodutos do tratamento efluentes de cada processo

Tabela 4 - Função e descrição dos processos do tratamento convencional de água (parte 2)

Fonte: adaptado de Libânio (2010) e Richter e Netto (1991)

<b>Processo /Operação Unitária</b>	<b>Função</b>	<b>Descrição</b>	<b>Entrada<sup>1</sup></b>	<b>Saída<sup>2</sup></b>
Flotação	Retirar partículas sólidas em suspensão da água para reduzir o afluxo de partículas aos filtros	É injetado ar na camada inferior da água para que os flocos flutuem e sejam retirados da camada superior. É utilizado quando a água bruta é caracterizada por muita cor e pouca turbidez, caracterizando a presença de sólidos dissolvidos, que são partículas mais leves.	-	Resíduo (lodo)
Filtração	Retirar da água partículas pequenas, responsáveis pela cor e turbidez	Separação sólido-líquido via passagem da água através de um leito filtrante, composto por material granular no qual as partículas ficam retidas	-	Resíduo (lodo)
Desinfecção	Inativar microorganismos patogênicos presentes na água e prevenir o crescimento microbiológico nas redes de distribuição	Adição de agente químico oxidante para desinfecção da água	Agente químico oxidante (normalmente cloro)	-
Fluoretação	Elevar ou conferir determinada concentração de fluoreto a água	Aplicação de compostos de flúor na água	Flúor	-
Correção do pH	Corrigir o pH da água para reduzir sua corrosividade e evitar danos nas tubulações da rede de distribuição	Aplicação de cal hidratada	Cal hidratada	-

<sup>1</sup> Entende-se por entrada os produtos adicionados a água em cada processo

<sup>2</sup> Entende-se por saída os subprodutos do tratamento efluentes de cada processo

Conforme apresentado por Libânio (2010), os resíduos gerados durante o processo de tratamento de água representam de 1% a 5% do volume de água tratada. Estima-se que a perda para resíduos de decantadores é entre 1% e 3% e de filtros entre 0,5% e 3%.

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica na captação de água e minimizar o impacto ambiental associado a exploração deste recurso, pode-se realizar a recirculação da água de lavagem dos filtros e do clarificado das estações de tratamento de resíduos. Di Bernardo e Paz (2008) não recomendam a recirculação dessas águas sem tratamento prévio, pois pode comprometer o funcionamento da estação devido a possível presença acumulativa de microorganismos indesejáveis, como oocisto de *Giardia*, e inclusão de metais pesados na água final.

Já Tsutiya e Hirata (2001) sugerem utilizar o lodo proveniente de decantadores de ETAs como auxiliares de floculação com o objetivo de melhorar a sedimentabilidade em águas com baixa turbidez. Além de ser um produto de baixo custo, aumenta a produção de água tratada sem necessidade de aumentar a quantidade de produtos químicos utilizados e ampliação da ETA, conseqüentemente tende a reduzir os custos de tratamento da água. Contudo, é necessário o monitoramento contínuo dos microorganismos e compostos químicos presentes no lodo, pois podem causar problemas ao sistema, afetando a qualidade da água de consumo, conforme apresentado por Di Bernardo e Paz (2008).

Di Bernardo e Paz (2008) também citam que, como os resíduos do tratamento são compostos de mais de 35% de hidróxido de ferro ou alumínio, é possível recuperar o coagulante presente no lodo através da solubilização dos metais por meio de um ajuste de pH. Realli (1999) informa que este método permite recuperar cerca de 75% do alumínio inserido na água bruta. Esta solução é capaz de reduzir o volume e a massa do lodo e diminuir a concentração de metais pesados no resíduo a ser manejado. Entretanto, a técnica pode solubilizar substâncias não desejáveis, como outros metais e matéria orgânica natural, junto com o coagulante. Além disso, a variação da qualidade da água bruta afeta as características do lodo e, conseqüentemente, da recuperação dos coagulantes.

### 3.3. Resíduos do Tratamento de Água

Conforme ASCE e AWWA (1996) os resíduos de ETAs podem ser categorizados em:

- Lodo gerado na limpeza dos decantadores (flotadores), na lavagem dos filtros e no abrandamento e remoção de ferro e manganês da água bruta;
- Concentrado salino gerado no tratamento feito por membrana, osmose reversa, eletrodialise e troca iônica;
- Material filtrante utilizado, carvão ativado e resinas devido a troca iônicas desgastadas;
- Emissões gasosas geradas em unidades de controle odor.

A limpeza das unidades de sedimentação ou flotação e a lavagem dos filtros geram os resíduos mais representativos nas ETAs (CORNWELL, BISHOP, *et al.*, 1987). O lodo de estação de tratamento de água é definido como o resíduo constituído de água e sólidos em suspensão originalmente contidos na fonte de água, acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados à água nos processos de tratamento (RICHTER, 2001).

As características quati-qualitativas do lodo proveniente dos decantadores (ou flotadores) e dos filtros são bem distintas. Conforme Di Bernardo e Paz (2008), as características variam de acordo com:

- Qualidade da água bruta;
- Tecnologia de tratamento;
- Tipo e dosagem do coagulante utilizado e de alcalinizante ou acidificante;
- Uso, característica e dosagem do auxiliar de coagulação;
- Método de limpeza dos decantadores (ou flotadores);
- Técnica de lavagem dos filtros;
- Habilidade dos operadores;
- Operação da ETA.

A limpeza dos tanques de decantação (ou flotação) pode ser contínua ou intermitente, variando assim a característica do lodo, pois quanto maior o tempo de acumulação, maior a concentração de sólidos devido ao adensamento (RICHTER, 2001). O volume do lodo varia de acordo com a quantidade de água usada para ajudar na limpeza, que, por sua vez, depende do tipo de limpeza realizada. Se a limpeza for manual, é difícil de estimar o volume, pois é influenciado pela habilidade dos operadores. No entanto, se for mecanizada ou se houver descargas diárias por meio hidráulico, estima-se que a concentração de SST varia entre 5 e 15 g/L dependendo da frequência e duração das descargas (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

A lavagem dos filtros é feita em curtos períodos de tempo, variando entre 24h e 72h dependendo da qualidade da água decantada. A quantidade de sólidos presente neste lodo não deve variar com a frequência de lavagem, pois depende da capacidade de acumulação do leito filtrante, que é uma característica fixa (RICHTER, 2001). O volume e concentração de SST do resíduo gerado dependem da qualidade do afluente e efluente, do método de lavagem e da operação dos filtros. Valores usualmente encontrados são entre 100 e 600 mg/L para concentração de SST e entre 4 e 12 m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup> de área filtrante para volume (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Richter (2001) conclui que o efluente dos tanques de decantação (ou flotação) varia com a qualidade da água bruta, coagulante utilizado, tempo de permanência e eficiência do processo de clarificação. Já o efluente da lavagem dos filtros varia com o tipo de leito filtrante utilizado. Também infere que a concentração de sólidos totais no lodo proveniente dos tanques de decantação varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4%) e do lodo da lavagem dos filtros varia entre 40 a 1.000 mg/l (0,004 a 0,1%). Por fim, estima que os sólidos suspensos representam geralmente de 75-90% do lodo enquanto os compostos voláteis representam de 20-35%.

Em termos de volume, a lavagem dos filtros é a maior contribuinte na geração de lodo. Já com relação a massa, a separação sólido-líquido que ocorre nas unidades de sedimentação ou flotação são mais expressivas (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Di Bernardo e Paz (2008) estudaram uma ETA que utilizava sulfato de alumínio como coagulante, tinha 6 decantadores convencionais de limpeza manual, 12 filtros rápidos e tratava 610 L/s de água. A Tabela 5 apresenta as características das amostras compostas de água de lavagem de um filtro e da limpeza manual de um decantador desta ETA. Os Gráfico 5 e Gráfico 6 apresentam o volume de resíduo devido a limpeza dos decantadores e de água proveniente da lavagem dos filtros em um ano.

Tabela 5 - Características das amostras compostas de água de lavagem de filtro e da limpeza de decantador

Fonte: Di Bernardo e Paz (2008)

<b>Parâmetro</b>	<b>Água de lavagem de filtro</b>	<b>Água da limpeza de decantador</b>
Turbidez (uT)	340	3650
pH	7,84	7,52
Cor aparente (uC)	3720	NM
Sólidos Totais (mg/L)	490	4954
Sólidos suspensos totais (mg/L)	428	4500
Sólidos suspensos fixos (mg/L)	340	3920
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	88	580
Sólidos Sedimentáveis - 2h (mg/L)	33	190
Coliformes Totais (NMP/100mL)	225	NM
Escherichia coli (NMP/100mL)	5	NM
DQO (mg/L)	67	816
Ferro (mg/L)	27	290
Manganês (mg/L)	0,6	8,5
Alumínio (mg/L)	42,9	169,8
Cobre (mg/L)	ND	0,04
Zinco (mg/L)	0,06	0,13
Chumbo (mg/L)	ND	ND
Cromo (mg/L)	ND	0,01
Cádmio (mg/L)	ND	ND
Níquel (mg/L)	ND	ND

NM = não medido; ND = não detectado

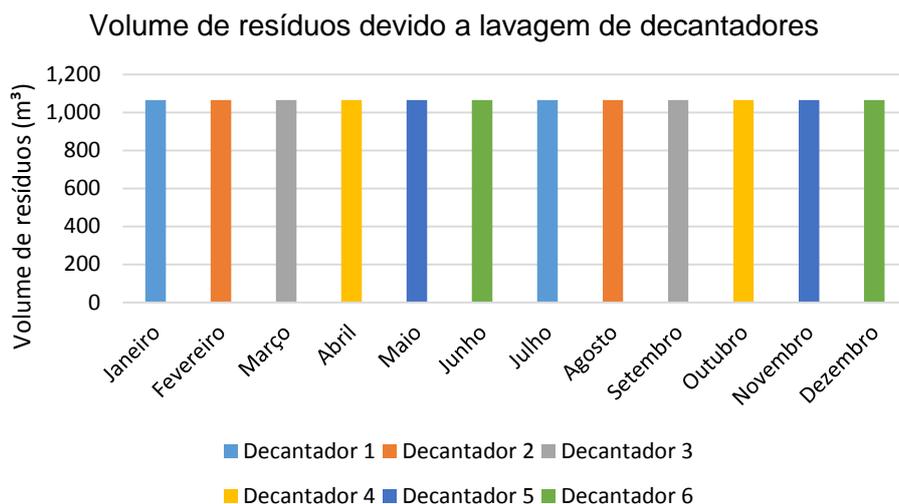


Gráfico 5 - Volume de resíduos devido a lavagem de decantadores

Fonte: Di Bernardo e Paz (2008)

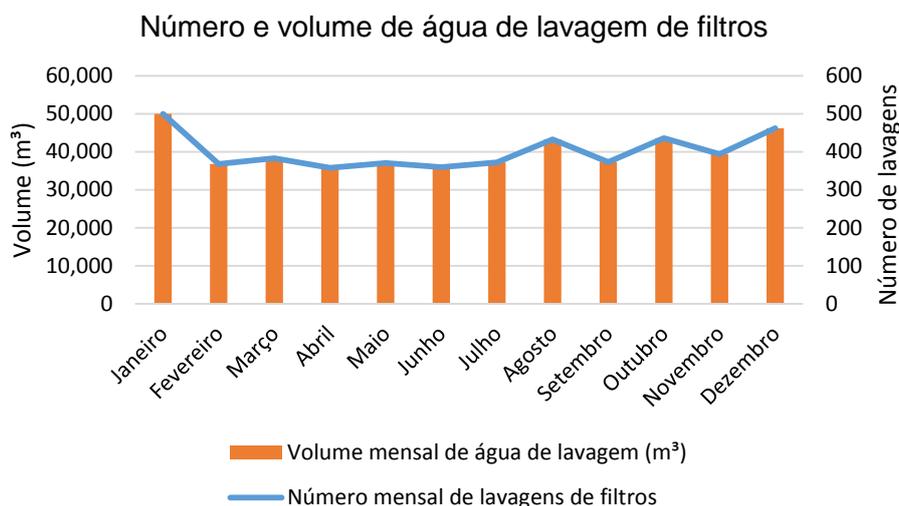


Gráfico 6 - Número de lavagem de filtros e volume de água de lavagem de filtros

Fonte: Di Bernardo e Paz (2008)

Com esses dados, Di Bernardo e Paz (2008) inferem que a concentração de sólidos totais e de sólidos suspensos totais é de 9% para a água de lavagem de um filtro e 91% para a limpeza de um decantador. Já com relação ao o volume médio, 2,42% é referente a água de lavagem dos filtros e 0,064% a limpeza dos decantadores, com relação ao volume de água tratada em um ano. O volume médio de água de lavagem de um filtro era de 100 m<sup>3</sup> e de um decantador 1.065 m<sup>3</sup>.

Com relação as características qualitativas, o lodo de coagulantes a base de sal de alumínio e ferro são similares com características apresentadas.

Tabela 6 - Características do lodo de coagulantes a base de sal de alumínio

Fonte: Richter (2001)

Sólidos Totais (%)	Composto de Alumínio (%)	Inorgânicos (%)	Matéria Orgânica (%)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
0,1 - 4	15 - 40	35 - 70	15 - 25	6 - 8	30 - 300	30 - 5000

Tabela 7 - Características do lodo de coagulantes a base de sal de ferro

Fonte: Richter (2001)

Sólidos Totais (%)	Fe (%)	Voláteis (%)	pH
0,25 - 3,5	4,6 - 20,6	5,1 - 14,1	7,4 - 9,5

É comum observar a presença de carvão ativado em pó, cal e polímeros nos lodos de ETA, além dos coagulantes (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

Tsutiya e Hirata (2003) estimam que a produção de lodo de ETAs nos municípios operados pela SABESP no Estado de São Paulo é de aproximadamente 90 toneladas por dia, em base seca. A Figura 2 apresenta as principais características físico-química dos lodos de decantadores das ETAs da RMSP, com unidades providas de removedores mecânicos.

Parâmetro	Guaraú	A.B.V.	Rio Claro	Rio Grande	Teodoro Ramos	Alto Cotia
Alumínio (mg/kg)	65.386	7.505	6.690	83.821	123.507	95.541
Cobre (mg/kg)	23	1.109	14.833	25	2.791	<5
Ferro (mg/kg)	32.712	281.508	449.774	32.751	41.259	30.080
Fluoreto (mg/kg)	152	86	150	42	46	38
Manganês (mg/kg)	3.146	1.684	6.756	136	5.181	453
Sódio (mg/kg)	6.609	1.027	41.482	563	3.222	433
Zinco (mg/kg)	59	57	75	47	145	66
Organoclorados (ppb)	ND	0,02	0,02	-	-	ND
Carbamatos (ppb)	ND	8,4	ND	-	-	ND
Sólidos totais (mg/l)	24.957	17.412	14.486	11.043	5.518	10.692

Figura 2 - Principais características físico-químicas dos lodos de decantadores de ETAs da RMSP

Fonte: Tsutiya e Hirata (2001)

É importante saber que nas ETAs Alto da Boa Vista (ABV) e Rio Claro o coagulante utilizado é um sal de ferro, enquanto nas demais é um sal de alumínio (DI BERNARDO e PAZ, 2008). A Tabela 8 indica a produção de água em cada uma das estações citadas acima.

Tabela 8 - Vazão de água tratada por ETA

Fonte: adaptado de SABESP (2016)

<b>ETA</b>	<b>Q água potável produzida (m<sup>3</sup>/s)</b>
Guaraú	33
A.B.V.	14
Rio Claro	4
Rio Grande	5
Teodoro Ramos	1,8
Alto Cotia	1,2

Di Bernardo e Paz (2008) inferem a partir destes dados que mesmo nas ETAs com coagulante a base de alumínio a concentração de ferro é alta e vice e versa. Além disso, a concentração de outros metais como manganês e cobre também são relativamente altas. Pode-se observar que a concentração de sólidos totais é bastante variável (5,5 a 25 g/L) devido às condições de coagulação, ao tipo de limpeza do decantador (mecanizada ou hidráulica) e aos métodos de operação dos mesmos.

Já no Estado do Rio de Janeiro, entre as estações de tratamento gerenciadas pela CEDAE, tem-se informação da característica do lodo apenas da ETA Laranjal, objeto de estudo deste trabalho. Silva (2015) verificou que na ETA nº1 do sistema Laranjal a vazão de AB afluente é de 3,04 m<sup>3</sup>/s e são produzidos 6.796,49 kg de lodo por dia (Figura 3). Os resíduos produzidos na lavagem dos filtros (ARLF) apresentam baixa concentração de sólidos (166 mg/L), enquanto os provenientes da lavagem (ARLD) e da descarga dos decantadores (ADD) apresentam alta concentração. No entanto, o volume de água utilizado na lavagem dos filtros é muito maior que o utilizado na limpeza dos decantadores, correspondendo a cerca de 70% do volume total dos efluentes.

DADOS DE PRODUÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS NA ETA Nº 1	VOLUME	MASSA SECA = CARGA SST	CONCENTRAÇÃO MÉDIA SST	DENSIDADE DO RESÍDUO MEDIDA NO DENSÍMETRO	TEOR DE SÓLIDOS
	(m³)	(Kg)	(mg/L)	-	(%)
ARLD	502,11	4.287,58	8.556	1,010	0,85%
ADD	939,26	1.938,09	2.077	1,010	0,20%
ARLF	3.445,28	570,82	166	1,005	0,02%
Total Resíduos	4.886,65	6.796,49	-	-	1,07%
ÁGUA BRUTA	262.656,00	6.829,05	26,00	1,000	0,003%

Figura 3 - Dados de produção diária de resíduos na ETA 1 do Sistema Laranjal/RJ

Fonte: Silva (2015)

Segundo (IBGE, 2010), os resíduos gerados nas ETAs brasileiras são lançados no meio ambiente, em geral no corpo d'água mais próximo. Isto causa grande impacto ambiental, comprometendo tanto a biota aquática e a saúde humana, quanto a qualidade da água e dos sedimentos dos corpos receptores (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Conforme Di Bernardo e Paz (2008), há o aumento da concentração de metais tóxicos nos bentos, redução da concentração de carbono disponível para a alimentação dos macro-invertebrados, aumento da concentração de sólidos suspensos, reduzindo assim a luminosidade do meio líquido e, conseqüentemente, diminuindo a produtividade do fito plâncton nos locais próximos ao ponto de descarte. Agentes patogênicos e metais pesados estão presentes nos lodos de ETAs, sendo prejudiciais à saúde humana. Além disso, o aspecto visual desagradável e a utilização a jusante da água para fins de abastecimento de outras comunidades e/ou irrigação também são pontos a se preocupar.

Verifica-se então a necessidade de destinação final adequada do lodo para não se tornar um passivo ambiental. Conforme Realli (1999), o lodo de ETA é caracterizado por possuir umidade em torno de 95%, de maneira geral sob forma fluida. Para o manejo adequado deste resíduo é necessário diminuir seu volume, visando reduzir custos de transporte, disposição final e riscos de poluição do meio ambiente.

### **3.3.1. Considerações sobre Tratamento do Lodo**

O objetivo de reduzir o volume do lodo até determinada concentração de sólido é facilitar o transporte e/ou disposição final do resíduo do tratamento e, conseqüentemente, reduzir seus custos. O tratamento é realizado nas operações de adensamento e desidratação (SILVA, 2015).

Conforme Di Bernardo e Paz (2008), tanto o adensamento quanto a desidratação têm por objetivo diminuir a massa e volume do lodo através da redução de sua umidade e aumento da concentração de sólidos. Assim, a parcela líquida pode ser recirculada na ETA, como indicado no item 3.2., e a parcela sólida seguir para seu destino final, que será abordado no item 3.3.2..

Libânio (2010) cita que geralmente os resíduos do tratamento de água necessitam de adensamento prévio ao processo de desidratação. Quando isso ocorre, o objetivo da desidratação passa a ser aumentar a concentração de sólidos do lodo adensado.

Existem três tipos de adensadores: por gravidade, por flotação e mecanizados. Já a desidratação pode ser feita através de lagoa, leito de secagem, centrifuga, filtro prensa de esteira ou de placas e filtro prensa parafuso. Di Bernardo e Paz (2008) indicam os seguintes parâmetros para a especificação do adensador: teor de sólidos no lodo adensado entre 6% e 8% e redução de volume de aproximadamente 90%. Já para a desidratação, recomenda que a torta gerada tenha teor de sólidos superior a 20%.

Cada método de adensamento e desidratação possui vantagens e desvantagens e deve ser selecionado de acordo com as especificações dos resíduos de cada ETA e suas singularidades, como, por exemplo, área disponível para implantação da estação de tratamento de resíduos (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

### 3.3.2. Destino final do lodo

Segundo Andreolli (2001), no Brasil, existem cerca de 7.500 ETAs que utilizam o tratamento convencional e lançam seus resíduos diretamente em cursos d'água. Além dos problemas ambientais gerados, a indústria do saneamento a partir de 1997 passou a ter uma preocupação legal devido a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, que definiu a outorga de lançamento de efluente como um instrumento de gerenciamento de recurso hídrico. Com isso, a indústria passou a ter também uma preocupação financeira. Este tópico será discutido em mais detalhes no item 3.5 sobre legislação.

Ao redor do mundo houve um avanço da legislação voltada para a proteção do meio ambiente e, conseqüentemente, foram desenvolvidos métodos para reduzir o volume de lodo e tecnologias para recuperar o coagulante utilizado e técnicas alternativas de utilização do lodo. Existem diversas possibilidades de disposição do resíduo de ETA. Dentre elas as mais usadas nos países desenvolvidos são disposição em aterro sanitário, aplicação controlada no solo e reciclagem (ANDREOLI, 2001). O Gráfico 7 apresenta os principais destinos dado ao lodo de ETAs nos Estados Unidos e o Gráfico 8 no Reino Unido.

Disposição final de lodo de ETAs nos Estados Unidos

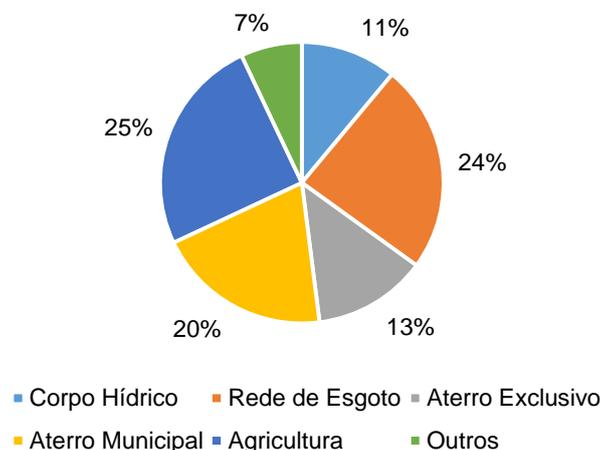


Gráfico 7 - Disposição final de lodo de ETAs nos Estados Unidos

Fonte: AWWARF (1999) apud Tsutiya e Hirata (2001)

### Disposição final de lodo de ETAs no Reino Unido

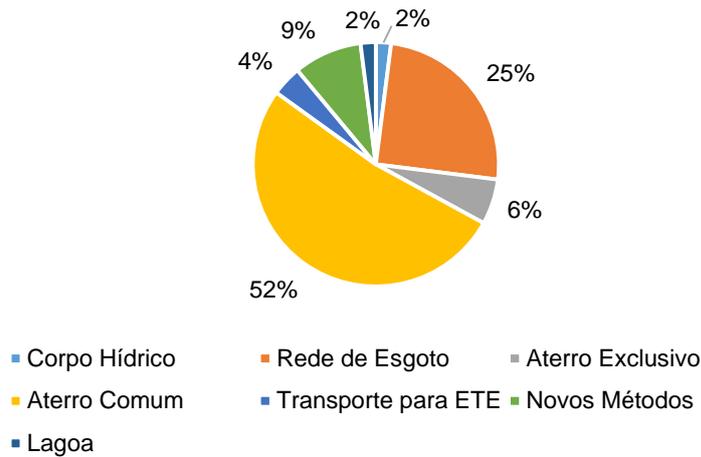


Gráfico 8 - Disposição final de lodo de ETAs no Reino Unido

Fonte: Simpson *et al* (2002) apud Morita (2016)

Ressalta-se que os novos métodos citados no Gráfico 8 são: aplicação no solo, recuperação de áreas degradadas e incorporação em materiais de construção. De acordo com Thames Water (2016), companhia de saneamento que opera em Londres e no Vale do Tâmesa, é gerado 32.948 toneladas de lodo nas ETAs operadas pela companhia por ano e nada é enviado para aterro sanitário. Todo o lodo é reciclado diretamente em terreno da própria ETA ou encaminhado para o uso na agricultura ou ainda destinado a uma ETE.

A Tabela 9 apresenta a destinação final dos resíduos gerados em ETAs brasileiras por região. Em seguida os mesmos dados são apresentados no Gráfico 9. Entende-se por reaproveitamento como fabricação de tijolos, telhas e gesso ou utilização na agricultura, como fertilizante e recompositor da camada superficial do solo.

A Tabela 9 confirma que o lodo é geralmente descartado em corpos d'água. Segundo Andreolli (2001) o motivo pelo qual as alternativas de disposição final usadas em outros países não são utilizadas no Brasil é o alto custo de implementação e operação.

Tabela 9 - Destinação final dos lodos de ETAs no Brasil

Fonte: IBGE (2010)

Região	Total de distritos	Distritos com geração de lodo no processo de tratamento de água							
		Total	Destino do lodo gerado nas ETAs*						
			Rio	Mar	Terreno	Aterro Sanitário	Incineração	Reaproveitamento	Outro
Norte	449	84	46	-	14	2	-	3	23
Nordeste	1.793	537	231	5	261	14	1	24	61
Sudeste	1.668	896	703	-	105	53	-	10	94
Sul	1.188	442	330	2	59	11	-	11	54
Centro-Oeste	466	139	105	-	24	3	-	2	15
Brasil	5.564	2.098	1.415	7	463	83	1	50	247

\* É possível o lodo de uma mesma ETA ter mais de um destino final.

Destino Resíduo de ETA no Brasil

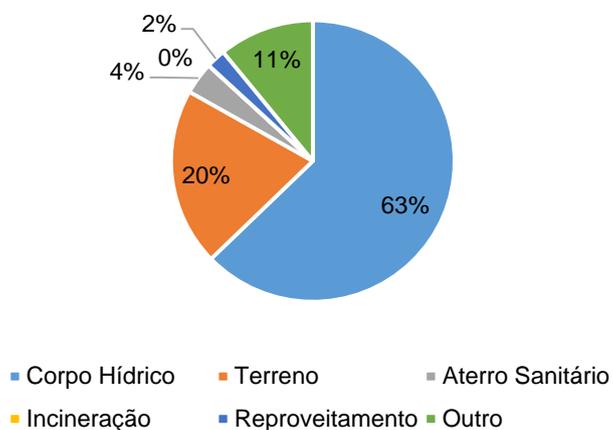


Gráfico 9 - Destino dos resíduos de ETA no Brasil

Fonte: adaptado de IBGE (2010)

Segundo Di Bernardo e Paz (2008), para determinar o tratamento e destinação final do lodo é necessário saber a quantidade gerada e suas características. Para ter um manejo mais eficiente e com mais opções de destinação o lodo deve ter máxima concentração de sólidos possível. Isto depende, principalmente, do método de tratamento da água e do coagulante utilizado. ASCE e AWWA (1996) destacam que opções de disposição final inovadoras estão sendo estudadas, como aplicação do lodo de ETA no solo e incorporação como matéria-prima na fabricação de tijolos e blocos de concreto. Essas alternativas podem mostrar-se com custo-benefício superior a destinação tradicional adotada aos lodos de ETA.

Nos itens subsequentes serão apresentadas alternativas de destino final para o resíduo proveniente de ETAs e suas vantagens e desvantagens. As alternativas apresentadas são: lançamento em cursos d'água, lançamento na rede de esgotos sanitários/ETE, aplicação no solo, disposição em aterro sanitário, reciclagem na indústria cerâmica e reciclagem na indústria do concreto.

### **3.3.2.1. Lançamento em cursos d'água**

Libânio (2010) afirma que esta é a prática mais adotada nas ETAs brasileiras, apesar da rígida legislação ambiental vigente no país. De acordo com AWWA (1987), esta também é a solução tradicionalmente utilizada nos EUA, porém desde a década de 70 há debates sobre a continuação desta prática devido ao impacto ambiental.

Di Bernardo e Paz (2008) inferem que o lodo proveniente do tratamento de água pode ser lançado em cursos d'água desde que certas condições sejam atendidas e dependendo da permissão das autoridades locais. O impacto na qualidade do corpo receptor deve ser avaliado em função do seu volume e das suas características, como a concentração natural de determinado poluente.

De acordo com a atual legislação brasileira, os efluentes só poderão ser lançados diretamente em cursos d'água caso estejam enquadrados nas condições e padrões definidos pela Resolução CONAMA 430 (CONAMA, 2011), além de outras exigências que órgãos locais venham a definir. Este assunto é discutido no item 3.5..

Alguns impactos negativos no corpo d'água receptor do lodo de ETA são: aumento da quantidade de sólidos, aumento de cor e turbidez, redução da penetração de luz e, conseqüentemente, diminuição da atividade fotossintética e concentração de oxigênio dissolvido, assoreamento e aumento da concentração de alumínio e ferro, proveniente do coagulante utilizado no tratamento (LIBÂNIO, 2010). Morita (2016) cita também que há a possibilidade de reduzir o pH da água, liberação de odores, solubilização de metais presentes no lodo, além do impacto visual.

Cordeiro (1993) estudou os impactos do lançamento dos lodos dos decantadores da ETA São Carlos/SP no córrego Monjolinho. A ETA tratava cerca de 500 L/s de água, utilizava sulfato de alumínio como coagulant e possuía 3 decantadores com capacidade de 1.630 m<sup>3</sup> cada com limpeza manual realizada em intervalos de 40 dias, geralmente, e com duração de 4 horas com o auxílio de jatos d'água sob pressão. A vazão de descarga era de aproximadamente 100 L/s. Foram feitas amostragens em diferentes pontos do córrego (Tabela 10) e em diferentes intervalos de tempo, sendo eles 15 minutos antes do início do lançamento e 15, 60, 120 e 180 minutos após o lançamento. Os resultados dos parâmetros avaliados são apresentados nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela 10 – Localização dos pontos de coleta de amostras do estudo sobre impacto do lançamento de lodo de decantadores da ETA São Carlos/SP

Fonte: Cordeiro (1993)

<b>Ponto</b>	<b>Localização em relação ao ponto de lançamento</b>
A	20 m a montante
B	20 m a jusante
C	50 m a jusante
D	100 m a jusante
E	1.000 m a jusante

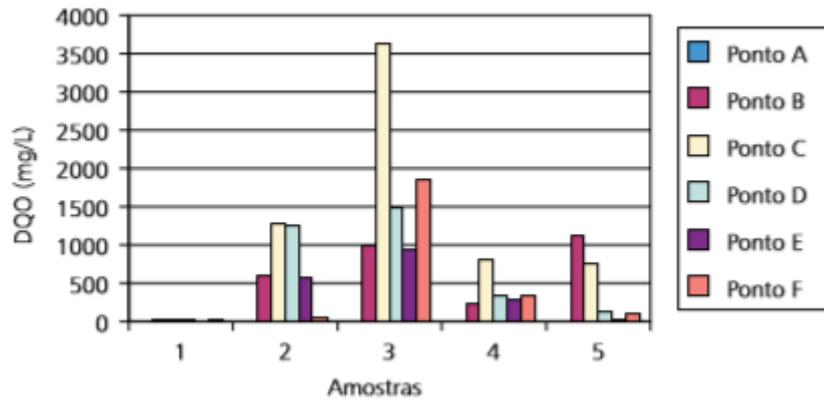


Figura 4 – Valores de DQO antes e depois do lançamento do lodo no córrego  
 Fonte: Cordeiro (1993)

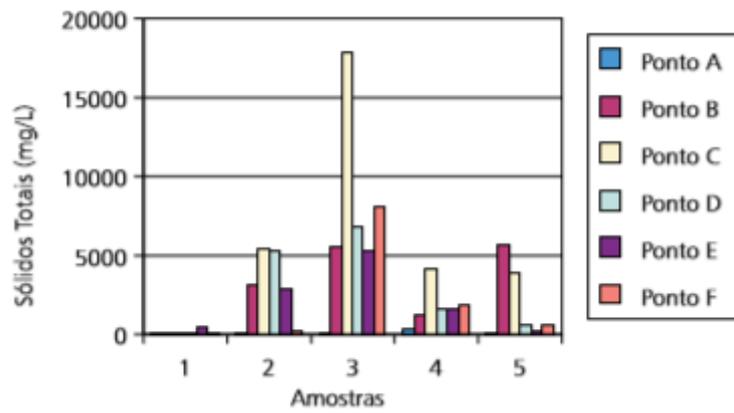


Figura 5 – Valores de sólidos totais e depois do lançamento do lodo no córrego  
 Fonte: Cordeiro (1993)

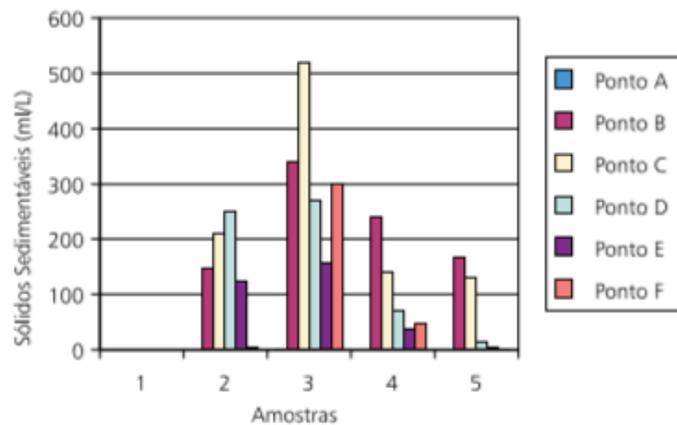


Figura 6 – Valores de sólidos sedimentáveis antes e depois do lançamento do lodo no córrego  
 Fonte: Cordeiro (1993)

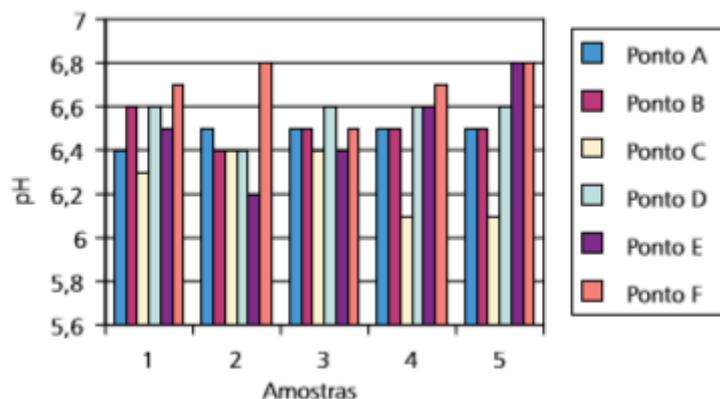


Figura 7 – Valores de pH antes e depois do lançamento do lodo no córrego

Fonte: Cordeiro (1993)

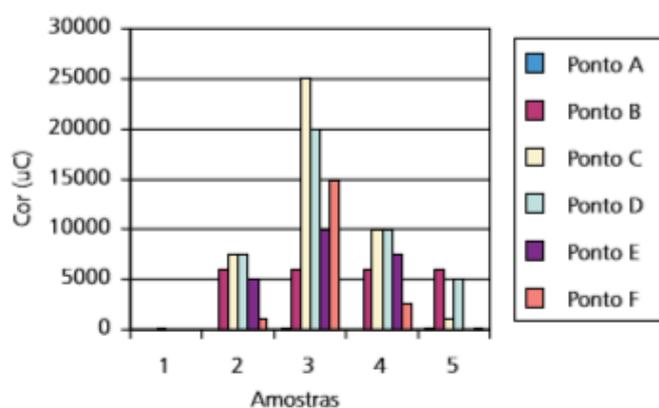


Figura 8 – Valores de cor antes e depois do lançamento do lodo no córrego

Fonte: Cordeiro (1993)

Observa-se que o lançamento do lodo proveniente do decantador provoca degradação ambiental no corpo hídrico. Isso reforça a necessidade de preocupação com o adequado manejo dos resíduos gerados em ETAs.

AWWA (1987) indica que a principal preocupação quanto ao lançamento do lodo em corpo hídrico é a toxicidade do alumínio. Além disso, também cita que, apesar de haver poucos estudos sobre o assunto, caso o corpo hídrico tiver baixa velocidade o resíduo descartado tenderá a juntar-se à camada bentônica. Isso acarretaria no desenvolvimento de condições anaeróbicas, causando aumento da solubilização de metais, redução do pH e odor.

Di Bernardo e Paz (2008) concluem que este é um método de disposição muito utilizado pois é barato. Ele pode ser viabilizado caso comprovada a segurança dessa atividade ao corpo receptor, de acordo com as legislações locais.

### **3.3.2.2. Lançamento na rede de esgotos sanitários/ETE**

Conforme Tsutiya e Hirata (2001), esta alternativa é utilizada comumente ao redor do mundo. Segundo Libânio (2010), do ponto de vista operacional da ETA é vantajoso o lançamento de resíduos em ETE, porém ocorre uma transferência de responsabilidade do tratamento e disposição final da ETA para a ETE. Já para Di Bernardo e Paz (2008) a disposição do lodo em ETE é uma excelente alternativa, principalmente para as ETAs que não possuem tratamento dos seus resíduos.

A disposição dos resíduos de ETAs em ETEs podem ser feitos a partir de diferentes etapas do sistema de tratamento dos resíduos. Os resíduos podem ser lançados diretamente na rede coletora após regularização de vazão ou pode haver um tratamento prévio. Este pode ser a clarificação dos resíduos provenientes dos decantadores e filtros, separando o lodo em duas fases, uma líquida e outra sólida. A líquida é recirculada na própria ETA enquanto a sólida é encaminhada para a ETE. Outra opção é clarificação e recirculação da parcela líquida apenas do lodo vindo dos filtros, devido aos riscos de acúmulo de ovos de parasitas na ETA (REALLI, 1999).

Tsutiya e Hirata (2001) citam como benefício desta disposição o controle do sulfeto de hidrogênio, que é um gás responsável por causar corrosão em concreto e metal além de apresentar forte odor em sistemas de esgoto e, dependendo da sua concentração, pode causar também danos físicos ao homem. Além disso, Morita (2016) cita que há aumento da eficiência dos decantadores primários e adensadores por gravidade da ETE e, conseqüentemente, há maior remoção de sólidos em suspensão e de DQO. Quando contém alumínio ou ferro nos lodos, observa-se também incremento na remoção de fósforo no efluente da ETE.

Por outro lado, Di Bernardo e Paz (2008) apresentam que é necessário avaliar se ocorrerá obstruções no sistema de coleta e transporte de esgoto devido a disposição do lodo da ETA. Deve-se avaliar também os impactos decorrentes desta prática nos processos biológicos de tratamento da ETE, visto que os sólidos dissolvidos e alguns metais presentes no lodo podem inibi-los, dentre eles a digestão do lodo. Além disso, as atividades e custos de manutenção e operação da ETE aumentam.

Morita (2016) apresenta que pode aumentar a quantidade de sólidos em suspensão no efluente final e que há a possibilidade de sobrecarga tanto nos decantadores primários como em todo o tratamento do lodo da ETE. A deficiência de fósforo e a concentração de metais e patógenos pode impactar a utilização do lodo de ETE na agricultura. Tsutiya e Hirata (2001) observam que, caso a ETE não possua decantadores primários poderá enfrentar sobrecarga nos decantadores secundários.

### **3.3.2.3. Aplicação no solo**

Esta é uma solução comumente utilizada para o lodo de ETE, pois é rico em carga orgânica e nutrientes. Como pode ser visto no Gráfico 7, 25% do lodo gerado nas ETAs americanas são aplicados no solo. Segundo Tsutiya e Hirata (2001), o lodo é utilizado neste país para suprir a deficiência de ferro nos solos onde são cultivados laranja e limão. Para que isso ocorra é necessário que o coagulante utilizado no tratamento da água seja o sulfato férrico. A utilização do lodo de ETA mostra-se tão eficiente quanto os demais produtos usados para suprir a falta de ferro no solo, portanto, o valor comercial do lodo aumenta.

Ademais, pode-se citar o aumento da aeração e da capacidade de retenção de líquido como os benefícios da aplicação do lodo no solo na fase de preparação e/ou crescimento da grama comercial, ou seja, grama para parques, jardinagem de rodovias, campos de atividade esportiva e cemitérios. Por outro lado, estudos devem ser realizados para determinar a correta dosagem do lodo para que não ocorra acúmulo de metais no solo, excesso de umidade ou prejuízo a fotossíntese devido a presença de sólidos cobrindo as folhas (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

O sulfato de alumínio quando aplicado ao solo tende a fixar-se com o fósforo, dificultando assim a assimilação deste pelas raízes das plantas. Para prevenir este problema, Richter (2001) limita a aplicação de lodo de sulfato de alumínio em quantidades de 2,2 a 4,4 kg/m<sup>2</sup>.

Também tem sido estudado o uso do lodo de ETA em compostagem e na produção de solos comerciais e para vasos. No Brasil, atualmente, esta técnica é pouco aplicada e no que tange a leis, não existe regulamentação para este tipo de disposição final do lodo (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Além das vantagens já citadas da utilização de lodo no solo, tem-se também a melhoria estrutural do solo; o ajuste do pH e da umidade e o fornecimento de traços minerais (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

Entretanto, as baixas concentrações de matéria orgânica e nutrientes e altas concentrações de metais pesados podem limitar sua aplicação no solo, além da possibilidade de contaminação do lençol freático (TSUTIYA e HIRATA, 2001). O gasto com transporte dos resíduos e com o monitoramento contínuo do local onde o lodo foi aplicado para verificar os nutrientes e metais pesados do solo também tendem a inviabilizar esta possibilidade (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

#### **3.3.2.4. Disposição em aterro sanitário**

Aterro sanitário é definido pela NBR 8.419 (ABNT, 1992) como sendo uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, que utiliza princípios da engenharia para armazenar o resíduo em menor área, ao menor volume e causando mínimo impacto ambiental e sem causar danos à saúde pública.

Di Bernardo e Paz (2008) afirmam que muitas ETAs destinam seus lodos para aterros sanitários no Brasil. Segundo Andreolli (2006), esta alternativa ainda é viável como disposição final dos resíduos do tratamento de água, visto que há disponibilidade de áreas economicamente acessíveis em cidades de pequeno e médio porte.

É necessário fazer o tratamento do resíduo para, além de reduzir gastos com transporte e disposição final, alcançar o teor de sólidos requerido pelo aterro, que geralmente é entre 20 e 25%, conforme apresentado por Richter (2001). Entretanto, em pesquisa realizada por Bielschowsky (2014), foi inferido que a maioria dos aterros sanitários da RMRJ recebe lodo com qualquer teor de sólidos.

Andreolli (2006) explica que a necessidade da redução da umidade dos lodos de ETA para a disposição em aterros sanitários dá-se também devido a codisposição deste resíduo com os resíduos sólidos urbanos, predominantemente domésticos. Isso é importante para não haver excesso de água no aterro, acentuada acidogênese e decorrente comprometimento da metanogênese. Além disso, Morita (2016) complementa afirmando que a codisposição de lodo de ETA que usa coagulante a base de alumínio com resíduos orgânicos pode acarretar na produção de ácidos graxos voláteis, reduzindo o pH do meio e favorecendo a lixiviação do alumínio.

O principal benefício de adotar esta opção como destinação final do lodo é a transferência de responsabilidade do gerenciamento dos impactos dos resíduos da ETA para a administração do aterro. Por outro lado, esta técnica tem elevados custos de implantação, devido aos gastos de transporte e disposição no aterro.

Bielschowsky (2014) apresenta que, segundo estudos da CEDAE, a maioria dos aterros sanitários da RMRJ cobram de acordo com faixas de teor de sólido. A Tabela 11 apresenta a estimativa de custo para disposição do lodo em aterros nesta região realizada no primeiro semestre de 2014.

Tabela 11 - Estimativa de custo para disposição de lodo em aterro sanitário na RMRJ por faixa de teor de sólidos

Fonte: Bielschowsky (2014)

FAIXA DE TEOR DE SÓLIDOS (%)	ESTIMATIVA ORÇAMENTÁRIA PARA RMRJ
T.S > 60	R\$ 90,00 / ton
30 > T.S > 60	R\$ 110,00 / ton
T.S < 30	R\$ 160,00 / ton

Estudo feito por David e Santos (2004) e apresentado por Di Bernardo e Paz (2008) apresenta a estimativa de custo para a disposição de lodo de ETAs da RMSP.

Tabela 12 - Estimativa de custo para disposição de lodo em aterro sanitário na RMSP

Fonte: David e Santos (2004) apud Di Bernardo e Paz (2008)

Descrição	Custo (R\$/ton)
Disposição final em aterro sanitário	60 - 100
Transporte (até 30 km de distância)	10 - 15

Outro problema associado à esta solução é que o lodo pode migrar para os vazios dos resíduos e colmatar os drenos, que são importantes pelo escoamento de gases e lixiviados. Pode também acomodar-se na base do aterro e gerar zona de fraqueza, trazendo assim problemas geotécnicos (MORITA, 2016). Di Bernardo e Paz (2008) também apresenta a possibilidade de contaminação do lençol freático e do solo, caso o aterro sanitário tenha sido projetado inadequadamente.

### 3.3.2.5. Reciclagem na indústria cerâmica

O aproveitamento do resíduo de ETA na fabricação de blocos cerâmicos e tijolos tem potencialidades técnicas que o tornam uma alternativa a ser considerada (DI BERNARDO e PAZ, 2008). Os lodos de ETA são compostos de argilas, silte, areia, coagulantes e matéria orgânica e, geralmente, apresentam características físicas e químicas semelhantes às dos materiais usados na fabricação de tijolos – argila natural e xisto. Com isso, torna-se interessante incorporá-los na cerâmica vermelha (TSUTIYA e HIRATA, 2001). A Tabela 13 ilustra a semelhança entre a composição química de argilas e do lodo de ETA.

Como observado pela Tabela 13, tanto as argilas como o lodo de ETA são compostos basicamente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), demonstrando assim a potencialidade de incorporação do lodo na matriz cerâmica. Tsutiya e Hirata (2001) inferem que quanto maior a similaridade da granulometria do lodo com a da argila, melhor sua aplicabilidade. Entretanto, a presença de carvão ativado ou antracito no lodo inviabilizam essa alternativa, visto que esses materiais causam a expansão e, portanto, rachaduras nos tijolos. Alto teor de areia e altas concentrações de matéria orgânica no lodo também prejudicam a qualidade final do produto.

Tabela 13 - Composição química da argila não plástica, argila plástica e lodo de ETA

Fonte: adaptado de Andreolli (2006)

Óxidos	Argila não plástica	Argila plástica	Lodo de ETA do Paraná
$\text{SiO}_2$	55,24	65,75	13,10
$\text{Al}_2\text{O}$	21,53	18,63	24,69
$\text{TiO}_2$	1,16	1,63	0,22
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	9,85	3,72	10,52
$\text{CaO}$	0,02	0,26	0,35
$\text{MgO}$	0,17	0,59	0,06
$\text{K}_2\text{O}$	0,13	0,82	0,12
$\text{Na}_2\text{O}$	0,01	0,10	-
$\text{MnO}$	0,04	0,04	2,13
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,09	0,06	0,39
$\text{SO}_3$	0,0129	0,0001	0,69
<b>Perda ao fogo</b>	11,16	8,07	47,19

Para haver um melhor entendimento da incorporação do lodo na fabricação de cerâmica vermelha, as etapas do processamento e produção desta são ilustradas no fluxograma da Figura 9.

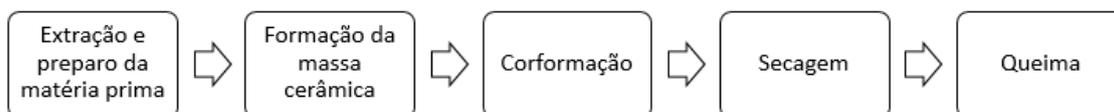


Figura 9 - Fluxograma do processamento e produção da cerâmica vermelha

Fonte: adaptado de Andreolli (2006)

Geralmente a incorporação do lodo dá-se na preparação da massa cerâmica, ou seja, durante a mistura das diferentes argilas. Essa mistura pode ser realizada manualmente ou com o auxílio de pá carregadeira ou através de misturador/destorroador, sendo este último menos usual. A incorporação ocorre nesta etapa pois há a possibilidade de corrigir a umidade (ANDREOLI, 2006). Tsutiya e Hirata (2001) mencionam que a mistura também pode ser realizada diretamente na jazida de argila, não sendo necessário nenhum equipamento diferente dos já utilizados para a extração da matéria prima. Já quando o lodo é adicionado durante o processo de fabricação são necessárias unidades de estocagem, dosadores e sistema de introdução do lodo.

Um fator condicionante para o sucesso dessa alternativa é o teor de umidade do lodo, pois quando aplicado com umidade muito alta pode prejudicar o processo de fabricação, obstruindo passagens ou aderindo-se a partes do sistema (TSUTIYA e HIRATA, 2001). É indicado que o lodo tenha teor de sólidos acima de 20% para a incorporação na matriz cerâmica (MORITA, 2016).

Devido a presença de hidróxidos de ferro ou bário no lodo a cor do produto se torna mais avermelhada, preferível pelos fabricantes. Por outro lado, a presença de cal no lodo prejudica a qualidade do tijolo produzido, podendo inviabilizar sua aplicação (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

A incorporação do lodo aumenta a vida útil da jazida de argila, visto que há a substituição do material. Verifica-se também que as emissões atmosféricas reduzem e que o risco de contaminação do operador é baixo (MORITA, 2016).

Entretanto, Tsutiya e Hirata (2001) chamam a atenção com relação a retração dos tijolos, ou seja, a redução de tamanho durante sua secagem. A retração varia de 2,5% a 10% na secagem ao forno para as argilas naturais, enquanto que para o lodo pode chegar a 20%, limitando assim a dosagem deste, visto que os blocos devem atender as especificações de dimensão de acordo com a NBR 7.171. Di Bernardo e Paz (2008) indicam que resultados favoráveis estão sendo obtidos com a incorporação de até 10% de lodo de ETA na mistura de argila do tijolo ou bloco cerâmico. Outra preocupação é a possibilidade de necessitar adaptações no processo produtivo da cerâmica vermelha para viabilizar a incorporação do lodo e os custos com transporte do resíduo.

Di Bernardo e Paz (2008) concluem que para aproveitar o lodo de ETA na indústria cerâmica é necessário fazer estudos para verificar se há perda de qualidade nas propriedades mecânicas, retração e absorção de água, visando comprovar a viabilidade técnica da alternativa. Isto é necessário visto que as características físico-químicas variam de ETA para ETA.

Morita (2016) apresentou um estudo que foi realizado com o lodo da ETA Cubatão e incorporação no processo de fabricação da Cerâmica Mônaco. A ETA Cubatão realiza tratamento convencional, com cloreto férrico como coagulante, e tem capacidade de 4 m<sup>3</sup>/s. A cerâmica Mônaco utiliza 7.500 toneladas de argila por mês. Foram feitos testes em escala real com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e ambiental da substituição da argila por lodo de ETA. O estudo confirmou que tijolos com lodo de ETA apresentam cor mais avermelhada, como pode ser visto na Figura 10.

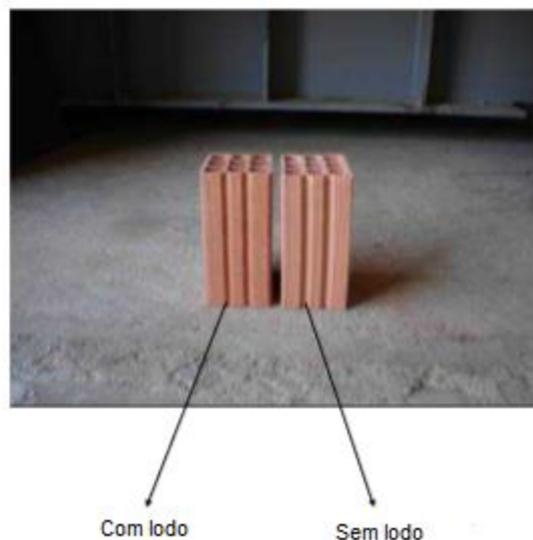


Figura 10 - Coloração de tijolo fabricado com e sem a incorporação de lodo de ETA

Fonte: Morita (2016)

Além disso, verificou-se que os blocos são mais leves, o que reduz custos de transporte. As emissões atmosféricas do forno não afetariam a qualidade do ar, de acordo com o modelo matemático de dispersão de poluentes utilizado. Com relação ao processo produtivo, não houve necessidade de adaptações. Os blocos com 12,5% de lodo e confeccionados com molde de paredes retas atenderam as especificações das normas da ABNT.

Dias (2004) estudou a incorporação de lodo da ETA Meia Ponte, Goiânia/GO, na fabricação de tijolos cerâmicos distintos. A ETA produz 1,8 m<sup>3</sup>/s de água tratada e gera 9.000 m<sup>3</sup> de lodo por ano, o qual é desidratado em lagoas de decantação durante o período de um ano. Os blocos foram produzidos na cerâmica Maná, pois esta possui controle de qualidade do produto final, garantindo blocos de classe 10 e 15.

O estudo tinha como objetivo avaliar a qualidade do produto final à luz das normas brasileiras, para isso o lodo foi caracterizado e os blocos produzidos foram testados com relação a resistência à compressão, dimensão e avaliação visual. Um resumo dos resultados obtidos na caracterização do lodo encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Caracterização físico-química do lodo da ETA Meia Ponte

Fonte: adaptado de Dias (2004)

<b>Composição química *</b>	
<b>Óxidos (%)</b>	<b>Lodo ETA Meia Ponte</b>
SiO <sub>2</sub>	27,80
Al <sub>2</sub> O	26,40
TiO <sub>2</sub>	0,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,50
CaO	0,05
MgO	0,23
K <sub>2</sub> O	0,27
Na <sub>2</sub> O	0,13
Perda ao fogo	24,50
<b>Caracterização física *</b>	
<b>Consistência e plasticidade</b>	
Limite de liquidez	64,2
Limite de plasticidade	48,1
Índice de plasticidade	16,1
<b>Composição granulométrica</b>	
% de areia média	34,6
% de areia fina	13,1
% silte	13,5
% argila	38,9
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,556

\* Os resultados são referentes às médias dos 6 pontos analisados por Dias (2004)

Como pode ser inferido pela Tabela 14, o lodo da ETA, assim como as argilas naturais, é composto basicamente por sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O) e óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Como o lodo apresentou grande perda ao fogo, conclui-se que há matéria orgânica em sua composição. Segundo normas da ABNT o lodo é classificado como argila arenosa, já pelo sistema tátil e visual é argila com pouca areia, cor marrom. Portanto, concluiu-se que o lodo da ETA Meia Ponte tem característica de argila, demonstrando potencial para ser incorporada na fabricação de tijolos.

Os blocos foram produzidos com diferentes dosagens, como apresentado na Tabela 15. No total foram fabricados 3000 blocos de 8 furos, 500 de cada lote, com dimensões de 10x20x20 cm e dimensões nominais de 9x19x19 cm.

Tabela 15 - Dosagens de lodo e argila para a fabricação de blocos cerâmicos na experiência de Dias (2004)

Fonte: adaptado de Dias (2004)

<b>Lote</b>	<b>Dosagem</b>	
	<b>Argila</b>	<b>Lodo</b>
1	100%	0%
2	90%	10%
3	80%	20%
4	70%	30%
5	60%	40%
6	50%	50%

O ensaio de planeza da face, desvio em relação ao esquadro e avaliação visual foi realizado de acordo com a NBR 7171 (ABNT, 1992). Foram avaliados 10 blocos de cada lote e os resultados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultado ensaio de planeza de face, desvio em relação ao esquadro e avaliação visual

Fonte: adaptado de Dias (2004)

<b>Lote</b>	<b>Quantidade de blocos aprovados</b>
1	10
2	10
3	10
4	10
5	5
6	5

Já com relação a resistência à compressão, o Gráfico 10 apresenta os resultados.

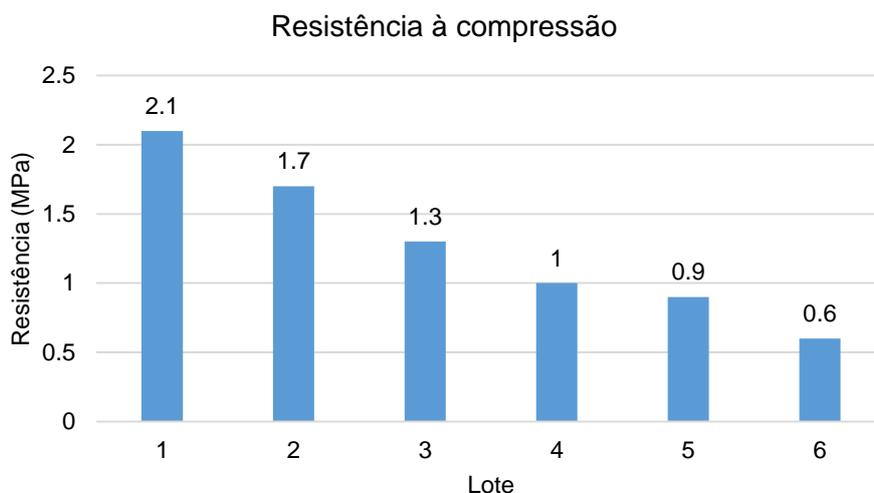


Gráfico 10 - Resultado do ensaio de resistência à compressão

Fonte: adaptado de Dias (2004)

De acordo com a NBR 7171 (ABNT, 1992), a Tabela 17 apresenta a classificação dos blocos cerâmicos quanto a resistência a compressão.

Tabela 17 - Classificação dos blocos cerâmicos com relação a resistência à compressão

Fonte: ABNT (1992)

<b>Classe</b>	<b>Resistência à compressão na área bruta (MPa)</b>
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

Por fim, o estudo concluiu que quanto maior a proporção de lodo na argila menor a resistência dos blocos. As dosagens de 10% e 20% de lodo atenderam as exigências da ABNT. A primeira foi enquadrada na classe 15 de resistência à compressão, enquanto a segunda na classe 10. As demais dosagens (30%, 40% e 50%) não atenderam as normas.

De acordo com Tsutiya e Hirata (2001) na cidade de Durham, Inglaterra, cerca de 15% do lodo gerado em ETAs são reciclados na fabricação de tijolos e não há perda de qualidade estrutural do produto. Morita (2016) cita que há experiência com essa alternativa nos Estados Unidos, China, Espanha, Inglaterra, Índia e Holanda. Já no Brasil tem-se o registro de Hoppen (2004) sobre a destinação do lodo da ETA Passaúna, Curitiba/Paraná, para olarias. A ETA Passaúna gera cerca de 12 toneladas de lodo por dia com 15% de teor de sólidos. No Estado do Rio de Janeiro o lodo gerado na ETA Porto das Caixas, em Itaboraí/Rio de Janeiro, também é encaminhado para uma indústria cerâmica em Tanguá a aproximadamente três anos (DANTAS, 2016).

### **3.3.2.6. Reciclagem na indústria do concreto**

Conforme Tsutiya e Hirata (2001), nos Estados Unidos o lodo de ETA vem sendo utilizado no processo de fabricação do cimento *Portland* por empresas de saneamento como a Metropolitan Water, LA, CA e a Tulsa OK. Já no Brasil não há experiência em escala real.

Segundo Di Bernardo e Paz (2008), o calcário corresponde a cerca de 80% do material bruto utilizado na fabricação do cimento *Portland*. Este material tem baixas concentrações de sílica, ferro e alumínio. Para solucionar este problema, Tsutiya e Hirata (2001) citam que é adicionado argila, xisto, minério de ferro e bauxita. O lodo de ETA contém esses elementos, com isto pode ser utilizado para suprir este déficit, adicionando-o no processo de fabricação do cimento na fase de pré-homogeneização das matérias-primas. Outro benefício apresentado é, quando o lodo contém óxidos de potássio e de sódio, a diminuição das concentrações de álcali no cimento produzido, que em altas concentrações provocam expansão e fissuras em estruturas de concreto.

Tsutiya e Hirata (2001) sugerem que é necessário um teor de sólidos de, no mínimo, 50% para o lodo poder ser aplicado na fabricação do cimento *Portland*. Indicam também que se o lodo tiver alta concentração de matéria orgânica, antracito ou carvão ativado, sulfato, cloretos, permanganato de potássio e metais pesados pode comprometer a qualidade do cimento. O custo de transporte também é um entrave para esta alternativa.

Hoppen (2004) estudou a possibilidade da incorporação do lodo de ETA na matriz de concreto, realizando estudo de dosagem com diferentes teores de lodo em relação ao peso seco da areia e, depois, ensaios de abatimento do tronco do cone, absorção e resistência. O estudo foi feito com o lodo da ETA Passaúna, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante e possui centrífuga tipo “decanter”. São produzidos cerca de 12 toneladas/dia de lodo com aproximadamente 85% de umidade. A Tabela 18 apresenta as propriedades do concreto fresco no estudo de dosagem realizado.

Tabela 18 - Propriedades do concreto fresco no estudo de dosagem

Fonte: adaptado de Hoppen (2004)

<b>Teor lodo de ETA (% peso de areia)</b>	<b>0%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
<b>Temperatura do concreto (°C)</b>	18,3	19	25	19,5	20,3	25,5	21,2
<b>Traço</b>							
Cimento	1	1	1	1	1	1	1
Areia média	2,02	1,96	1,94	1,92	1,88	1,86	1,82
Brita 1	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Lodo de ETA	-	0,06	0,08	0,1	0,14	0,16	0,2
<b>Consumos (kg/m³)</b>							
Cimento	364	356	348	355	352	344	349
Areia média	736	698	676	682	662	640	636
Brita 1	1085	1061	1038	1058	1049	1026	1041
Água	183	178	176	178	177	176	175
Lodo de ETA	-	22	28	36	50	56	70
<b>Abatimento do tronco de cone (mm)</b>	65	17	36	10	6	18	0
<b>Massa unitária (kg/m³)</b>							
Teórica	2373	2345	2331	2326	2307	2291	2280
Real	2366	2319	2263	2305	2293	2247	2268
<b>Ar incorporado (%)</b>							
Teórico	0,3	1,1	2,9	0,9	0,6	1,9	0,5
Real	-	2	3,5	1,5	1,5	3,5	1

Verifica-se que houve um aumento da temperatura do concreto, porém como a diferença é pequena a fissuração devido a retração do concreto também deverá ser pequena. Além disso, observa-se que o consumo de cimento, que é o material de maior custo para a fabricação de concreto, reduziu. A consistência do concreto fresco apresentou grande variação. Hoppen (2004) explica que isso ocorre pois o lodo é constituído principalmente por finos, que apresentam maior superfície específica que a areia substituída, e conseqüentemente requer mais água para o adensamento.

Avaliando a massa unitária, houve um decréscimo de cerca de 4% com o aumento da dosagem do lodo, ou seja, o peso do concreto com a inserção do lodo reduziu. Conforme Hoppen (2004), isso acontece devido a menor massa específica do lodo comparado ao agregado miúdo substituído. O teor de ar incorporado também diminuiu com o incremento do lodo, mas isso não teve influência nas demais propriedades do concreto.

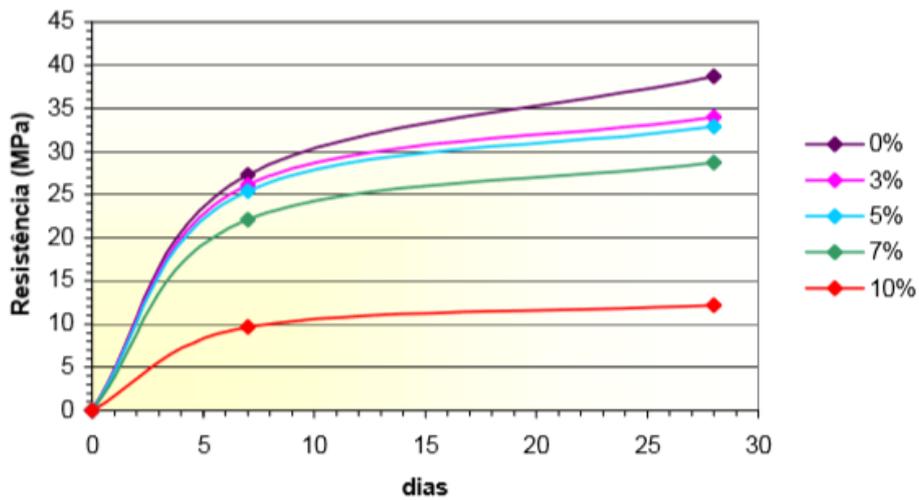


Gráfico 11 - Resistência à compressão do concreto com 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de lodo em função da idade

Fonte: Hoppen (2004)

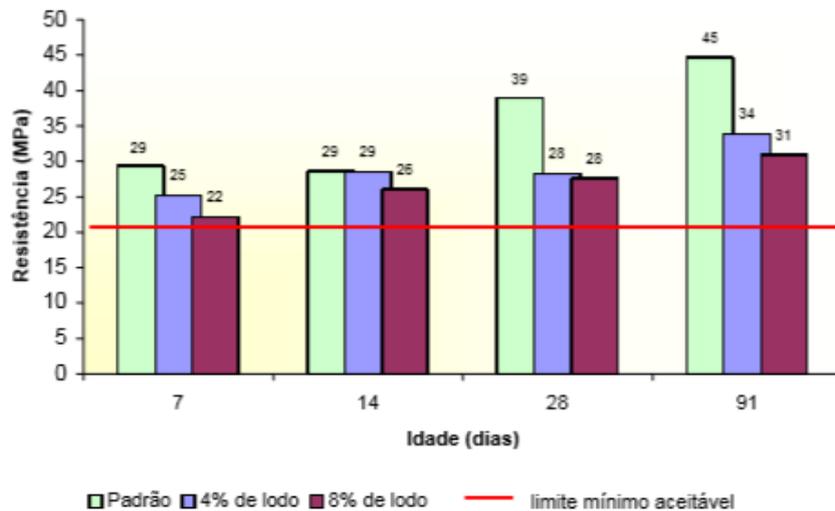


Gráfico 12 - Resistência à compressão do concreto com 0%, 4% e 8% de lodo em função da idade

Fonte: Hoppen (2004)

O Gráfico 11 apresenta o resultado da resistência à compressão axial simples das amostras de concreto com dosagens de lodo de ETA de 3%, 5%, 7% e 10% com idade até 28 dias. Já o Gráfico 12 apresenta o resultado do mesmo ensaio para concretos com 4% e 8% de lodo de ETA com idade até 91 dias.

Observa-se que aos 7 dias de idade o valor de resistência é acima de 20 MPa para todas as amostras, exceto para o concreto com 10% de lodo. Portanto, este poderá ser utilizado apenas para fins não nobres com baixas resistências. Já as amostras com até 8% de lodo, que tiveram resistência acima de 28 MPa após 28 dias, podem ser utilizados em contrapisos, blocos e placas de vedação, se avaliado somente a resistência. Sugere-se a realização de outros ensaios mecânicos e de durabilidade (HOPPEN, 2004).

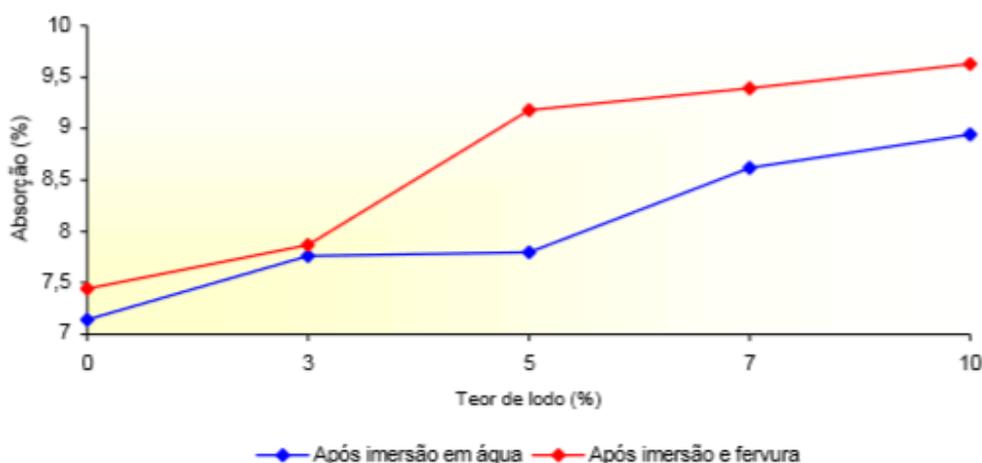


Gráfico 13 - Teor de absorção de água em função do teor de lodo

Fonte: Hoppen (2004)

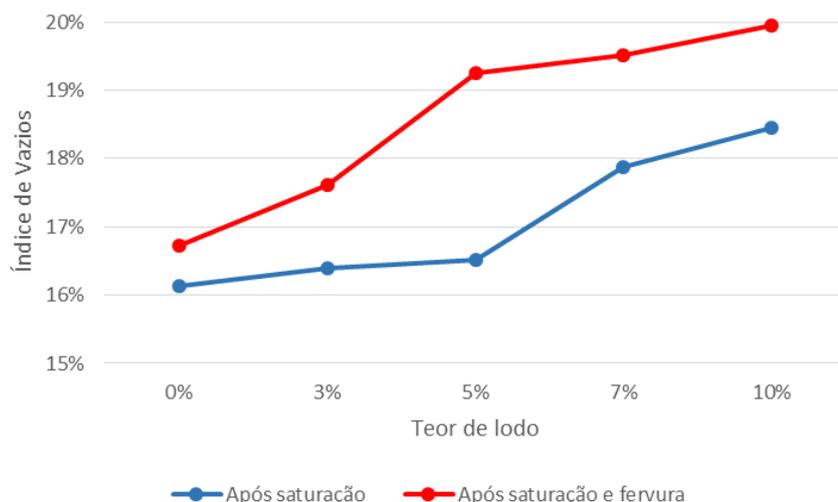


Gráfico 14 - Índice de vazios em função do teor de lodo

Fonte: Hoppen (2004)

A partir do Gráfico 13, verifica-se que a absorção aumentou com a maior dosagem de lodo. Isso não é bom, pois afeta a durabilidade do material em ambientes agressivos, permitindo a entrada de íons de cloreto e sulfato no concreto. O Gráfico 14 também apresenta o aumento do índice de vazios com o incremento de lodo no concreto. Uma explicação para isso é o lodo passa a se comportar como uma “esponja” ou sofre dissolução pela imersão em água.

Hoppen (2004) realizou ensaios de resistência à tração por flexão, resistência tração por compressão diametral, deformação estática, difração de raios e durabilidade para concretos com 4% e 8% de incremento de lodo de ETA. Os resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultado do ensaio de resistência à tração por flexão e por compressão diametral para concreto com 4% e 8% de lodo de ETA

Fonte: Hoppen (2004)

<b>Teor lodo de ETA (% peso de areia)</b>	<b>0%</b>	<b>4%</b>	<b>8%</b>
Resistência à Tração por Flexão (MPa)	4,20	3,10	3,00
Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa)	2,60	2,60	2,55

Segundo Hoppen (2004), a literatura indica que a resistência à tração por flexão corresponde a 10% da resistência à compressão axial, enquanto a resistência à tração por compressão diametral corresponde a cerca de 7% e 8%. Isso é confirmado pelos valores dos ensaios realizados para todas as amostras, ou seja, as amostras possuem resistência recomendada apesar dos valores serem menores que o traço padrão.

Verifica-se pelo Gráfico 15 que o módulo de elasticidade do concreto padrão foi aproximadamente 19% superior aos concretos com incremento de lodo de ETA. Conforme Hoppen (2004), valores esperados eram 26 GPa para concretos com 25 MPa de resistência e 28 GPa para resistência de 30 MPa. Com isso, ambas as amostras apresentaram resultados satisfatórios.

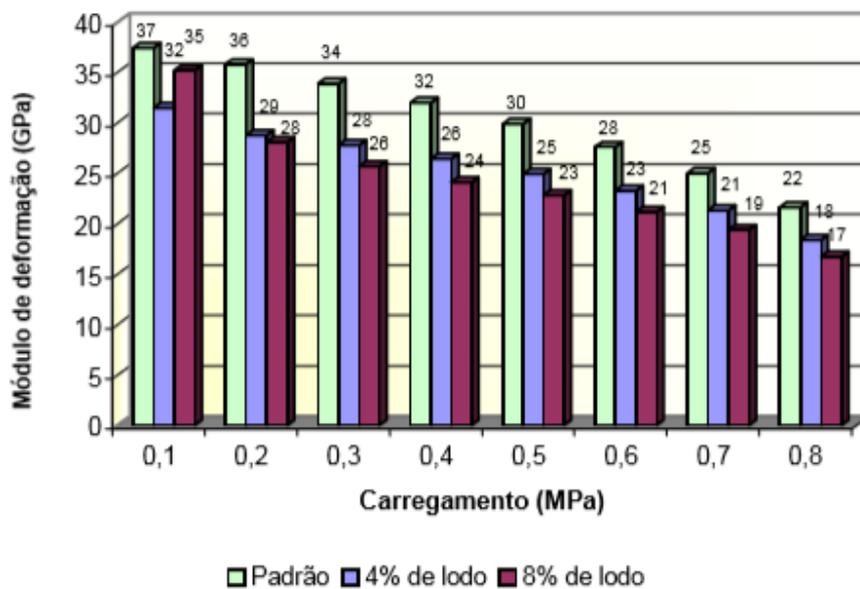


Gráfico 15 - Módulo de deformação estática

Fonte: Hoppen (2004)

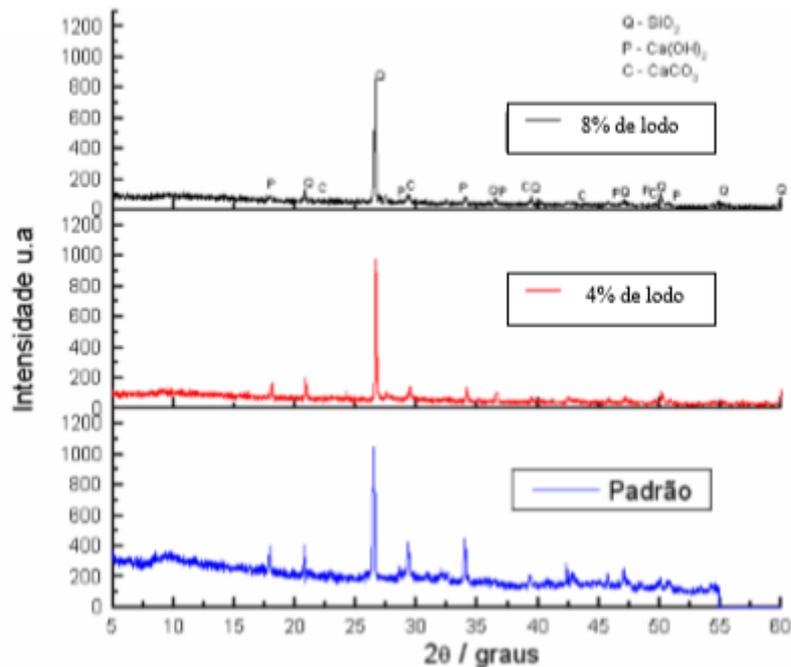


Figura 11 - Difratoograma das amostras de concreto com e sem a adição de lodo

Fonte: Hoppen (2004)

Os principais picos apresentados na análise de difração de raios (Figura 11) representam a presença de quartzo, portlandita, calcita, hidrato de silicato de cálcio e etringita. Comparando os 3 resultados, verifica-se que as fases químicas encontradas são pertencentes ao concreto e que não há grandes variações entre eles (HOPPEN, 2004).

O ensaio de durabilidade do concreto com 4% obteve resultado do potencial de corrosão similar ao concreto padrão. Já o concreto com 8% de lodo apresentou tendência de passagem do potencial de corrosão para a região com 90% de probabilidade de ocorrer, mas não foi detectado trincas nem outros defeitos na cobertura do concreto (HOPPEN, 2004).

Hoppen (2004) conclui que a incorporação de valores acima de 10% de lodo não atende as exigências mínimas da construção civil. Por outro lado, dosagens entre 4% e 8% obtiveram resultados satisfatórios. A utilização do lodo de ETA na matriz de concreto além de ser uma destinação sustentável para este resíduo ainda diminui a extração de areia e brita e reduz os custos de fabricação.

### 3.4. Legislação

O marco inicial da preocupação ambiental no âmbito legal deu-se com a promulgação da Lei 6.938/81 (BRASIL, 1981), que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Após isso, em 1998, foi promulgada a Lei de Crimes Ambientais, que determina que, caso o crime seja devido ao lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos, a pena prevista é de reclusão de um a cinco anos. Além disso, esta lei também determina que o lançamento irregular de resíduos é passível de punição civil, administrativa e criminal (BRASIL, 1998). Com isso, a indústria do saneamento passou a ter uma preocupação legal com a destinação do lodo de ETAs.

A NBR 12.216 (ABNT, 1992), que determina condições para elaboração de projeto de ETA, não define parâmetros para definição do destino final do resíduo gerado na estação. Esta norma apenas indica as maneiras de limpeza das unidades de decantação e filtração e indica que o destino do lodo deve ser previsto de acordo com os aspectos legais e econômicos.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) define resíduo de ETA como resíduo sólido, portanto deve ser classificado quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública e seguir toda a legislação referente a resíduo sólido. Em geral, o resíduo de ETA não apresenta característica de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. A patogenicidade é uma característica de resíduos perigosos, porém é desprezada na classificação dos resíduos gerados em ETEs pela NBR 10.004. Guimarães (2007) infere, então, que essa característica também seja desprezada para os resíduos de ETA, pois com o tratamento o resíduo é estabilizado. Por outro lado, eles apresentam propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água, caracterizando-os como resíduos não inertes. Portanto, o lodo é classificado como resíduo sólido Classe IIA – não inertes.

Segundo Morita (2016), esta classificação dificulta a reciclagem do lodo de ETA. Nos Estados Unidos da América, com o objetivo de incentivar e facilitar a reciclagem, a legislação foi alterada de maneira que os resíduos passíveis de serem reutilizados não fossem considerados perigosos.

Como o lodo é tratado como resíduo sólido, vale ressaltar que um dos objetivos da Política Nacional de Resíduo Sólidos (BRASIL, 2010) é não geração, redução e reuso dos resíduos e disposição final ambientalmente adequado dos rejeitos. Salienta-se que rejeito é definido como o resíduo sólido que com os tratamentos e tecnologias disponíveis atualmente e economicamente viáveis não conseguem ser aproveitados em outro processo.

De acordo com dados do IBGE de 2008, já apresentados Gráfico 9, 63% dos lodos de ETAs no Brasil atualmente é lançado em corpos hídricos e, de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), é necessária outorga para tal atividade. No Estado do Rio de Janeiro somente a partir do segundo semestre de 2014 o INEA, que é o órgão ambiental estadual, passou a solicitar a outorga de lançamento para as ETAs (DANTAS, 2016). O requerimento segue o modelo utilizado para a solicitação de lançamento de ETEs, sendo a DBO o único parâmetro solicitado para a avaliação. Isso confirma a afirmação de Andreolli (2001) quando diz que a maior preocupação no Brasil é com relação aos resíduos gerados nas estações de tratamento de esgoto.

A resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005), como citado no item 3.1., dispõe sobre a classificação dos corpos d'água superficiais e diretrizes do enquadramento. Salienta-se que o enquadramento do corpo hídrico não pode ser alterado por conta do lançamento de efluentes. Na Tabela 20 é apresentado um resumo de algumas condições e padrões de qualidade de água das águas doces. A classificação destas foi apresentada na Tabela 1.

A resolução CONAMA 430 (CONAMA, 2011) dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Segundo ela, o efluente não poderá alterar as características de qualidade do corpo receptor fazendo com que este esteja em desacordo com as metas do seu enquadramento. Caso o corpo hídrico seja enquadrado como classe especial, não poderá ocorrer o lançamento de efluente, mesmo que tratados. Além disso, os responsáveis pelo efluente devem controlar e acompanhar periodicamente as características do efluente a fim de fazer um automonitoramento. A Tabela 21 ilustra algumas condições de lançamento definidas na referida resolução.

Assim como na PNRS, a resolução CONAMA 430 indica que as fontes poluidoras dos corpos hídricos devem melhorar a gestão dos efluentes visando reduzir sua quantidade, melhorar sua qualidade e, preferencialmente, reutilizá-lo.

Tabela 20 - Principais condições e padrões de qualidade de águas doces

Fonte: adaptado de CONAMA (2005)

Classes	Águas Doces				
	Especial	1	2	3	4
<b>DBO 5 dias a 20°C</b>	Devem ser mantidas as condições naturais do corpo d'água	≤ 3 mg/L O <sub>2</sub>	≤ 5 mg/L O <sub>2</sub>	≤ 10 mg/L O <sub>2</sub>	-
<b>OD</b>		≥ 6 mg/L	≥ 5 mg/L	≥ 4 mg/L	≥ 2 mg/L
<b>Turbidez</b>		≤ 40 UNT	≤ 100 UNT	≤ 100 UNT	-
<b>Cor verdadeira</b>		nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L	< 75 mg Pt/L	< 75 mg Pt/L	-
<b>pH</b>		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
<b>SDT</b>		< 500 mg/L	< 500 mg/L	< 500 mg/L	-
<b>Alumínio dissolvido</b>		< 0,1 mg/L	< 0,1 mg/L	< 0,2 mg/L	-
<b>Ferro dissolvido</b>		< 0,3 mg/L	< 0,3 mg/L	< 5,0 mg/L	-
<b>Fósforo Total</b> (Ambiente intermediário e tributários diretos de ambiente lênticos)		< 0,025 mg/L	< 0,050 mg/L	< 0,075 mg/L	-
<b>Fósforo Total</b> (Ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)		< 0,1 mg/L	< 0,1 mg/L	< 0,15 mg/L	-
<b>Nitrogênio Amoniacal total</b> (pH ≤ 7,5)		< 3,7 mg/L	< 3,7 mg/L	< 13,3 mg/L	-
<b>Nitrogênio Amoniacal total</b> (7,5 ≤ pH ≤ 8,0)		< 2,0 mg/L	< 2,0 mg/L	< 5,6 mg/L	-
<b>Nitrogênio Amoniacal total</b> (8,0 ≤ pH ≤ 8,5)		< 1,0 mg/L	< 1,0 mg/L	< 2,2 mg/L	-
<b>Nitrogênio Amoniacal total</b> (pH > 8,5)		< 0,5 mg/L	< 0,5 mg/L	< 1,0 mg/L	-

Tabela 21 - Condições de lançamento de efluente

Fonte: adaptado de CONAMA (2011)

Parâmetro	Limite
pH	5 - 9
Temperatura	< 40°C, sendo a variação < 3°C no limite da zona de mistura
Materiais sedimentáveis	≤ 1mL/L em teste de 1h em cone <i>Inmhoff</i>
Vazão	1,5 a vazão média do período de atividade diária, exceto quando permitido pela autoridade competente
DBO 5 dias a 20°C	Remoção mínima de 60% de DBO
Ferro dissolvido	≤ 15 mg/L

No âmbito do Estado do Rio de Janeiro, o INEA possui critérios e padrões específicos como parte do sistema de licenciamento de atividades poluidoras. A DZ-205 (INEA, 2007) define as exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução da matéria orgânica biodegradável, não biodegradável e compostos orgânicos de origem industrial. Com relação a remoção mínima de DBO dos efluentes as exigências são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Remoção mínima de DBO dos efluentes industriais

Fonte: INEA (2007)

VAZÃO ≤ 3,5 m <sup>3</sup> /dia	
CARGA (kg DBO/dia)	REMOÇÃO
carga ≤ 2,0	sólidos grosseiros, sedimentáveis e materiais flutuantes
VAZÃO > 3,5 m <sup>3</sup> /dia	
CARGA (kg DBO/dia)	REMOÇÃO DE DBO (%)
2 < carga ≤ 10	40
10 < carga ≤ 100	70
carga > 100	90

Já com relação a DQO, poderá ser lançado, direta ou indiretamente, no corpo hídrico até 3,5 kg DQO/dia se a vazão de efluente for menor que 3,5 m<sup>3</sup>/dia. Caso seja maior que a vazão definida não há limite especificado para efluente de ETA.

A NT-202 (INEA, 1986) estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos. De acordo com esta norma técnica, os padrões de lançamento são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Alguns parâmetros do padrão de lançamento definido pela NT-202

Fonte: adaptado de INEA (1986)

<b>Parâmetro</b>	<b>Limite</b>
pH	5 - 9
Temperatura	< 40°C
Materiais sedimentáveis	≤ 1mL/L em teste de 1h em cone <i>Inmhoff</i>
Alumínio total	≤ 3,0 mg/L
Ferro solúvel	≤ 15 mg/L

Verifica-se que os padrões definidos pela NT-202 são similares aqueles estabelecidos pela CONAMA 430.

Para resumir os padrões de lançamento, a Tabela 24 apresenta o compilado dos valores mais restritivos de alguns parâmetros.

Tabela 24 - Valores mais restritivos dos principais parâmetros de lançamento de lodo de ETA

Fonte: Silva (2015)

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor mais restritivo</b>
<b>pH</b>	5 a 9 <sup>1</sup>
<b>Cor aparente (Hz)</b>	≤ 75 Pt/L <sup>2</sup> (cor verdadeira)
<b>Turbidez (UNT)</b>	≤ 100 UNT <sup>2</sup>
<b>DBO</b>	≤ 40 mg/L <sup>3</sup>
<b>DQO</b>	100 a 500 mg/L <sup>4</sup>
<b>SST</b>	≤ 40mg/L <sup>3</sup>
<b>Alumínio</b>	≤ 3 mg/L <sup>5</sup>
<b>Fósforo total</b>	≤ 1 mg/L <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Resolução CONAMA 430, 2011

<sup>2</sup> Resolução CONAMA 357, 2005

<sup>3</sup> Diretriz INEA DZ-215, 2007

<sup>4</sup> Diretriz INEA DZ-205, 2007

<sup>5</sup> Norma INEA NT-202, 1986

Por fim, observa-se que atualmente não existem leis ambientais no país que estabeleça parâmetros de controle para o tratamento e disposição final dos lodos de ETAs (ANDREOLI, 2001).

### 3.5. Unidade de Estudo – ETA Laranjal

A Estação de Tratamento Laranjal é o segundo maior sistema de tratamento de água da CEDAE, atendendo cerca de 1,5 milhões de pessoas. A ETA Laranjal é responsável pelo abastecimento de água potável dos municípios de São Gonçalo e Niterói, ambos situados no leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Também abastece o distrito Ilha de Paquetá, no município do Rio de Janeiro, e o distrito de Itaipuaçu, no município de Maricá. A Figura 12 apresenta a área de atendimento da ETA.

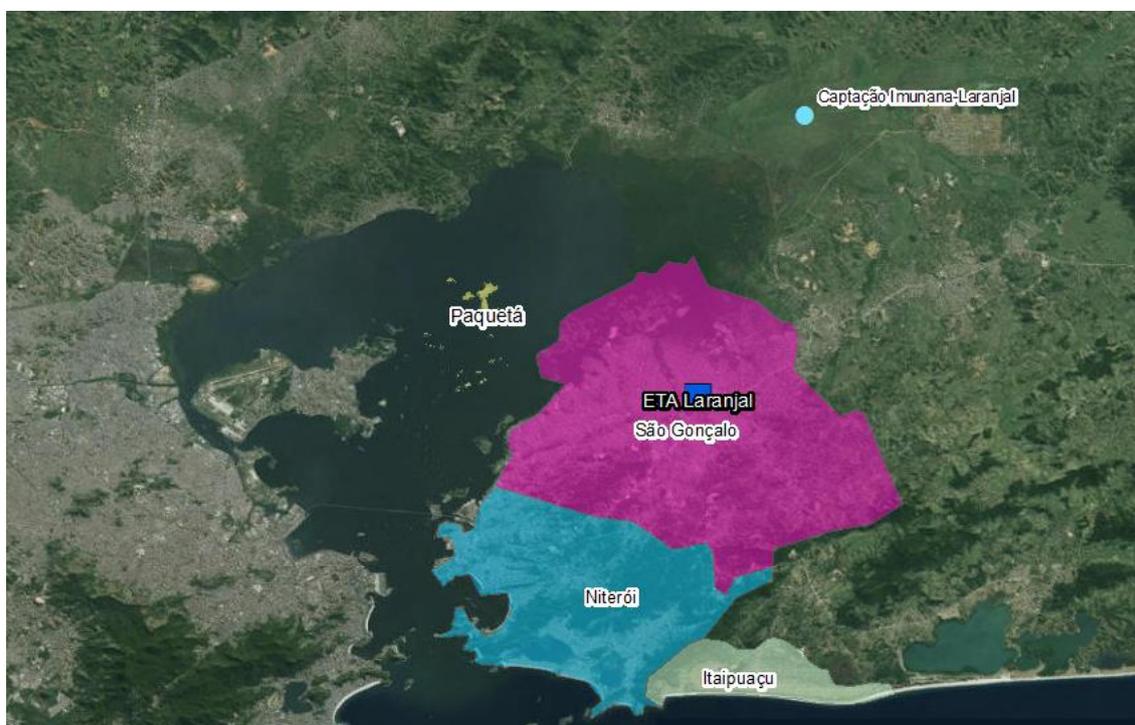


Figura 12 - Área de atendimento da ETA Laranjal

Fonte: adaptado de Google Earth, 2016

A ETA Laranjal localiza-se na Rodovia Amaral Peixoto (RJ-104), km 13,5, bairro Laranjal, São Gonçalo/RJ (Figura 13).



Figura 13 - Localização ETA Laranjal  
Fonte: adaptado de Google Earth, 2016

A ETA pertence ao sistema de abastecimento chamado de Imunana-Laranjal e o início da sua operação data de 1954. Após sua inauguração a ETA já passou por duas ampliações, uma em 1982 e outra em 1998. Atualmente, o complexo da ETA Laranjal é formado por 3 estações: ETA nº1, ETA nº2 e ETA nº3. A ETA nº1 tem a capacidade de tratar 3,0 m<sup>3</sup>/s, enquanto as ETAs nº2 e nº3 tratam 2,0 m<sup>3</sup>/s. Assim, o complexo da ETA Laranjal tem vazão nominal de 7,0 m<sup>3</sup>/s. A Figura 14 apresenta a planta geral da ETA Laranjal.



Figura 14 - Planta geral da ETA Laranjal

Fonte: Silva (2015) – adaptado do arquivo da CEDAE

A água é captada de maneira superficial e gravitatoria através do Canal de Imunana na confluência dos rios Macacu e Guapi-Açu, em Guapimirim. Há uma barragem de nível para elevar o nível d'água e impedir a intrusão salina a jusante da tomada d'água. O Canal de Imunana tem aproximadamente 3.500 m e esco a água até a elevatória de água bruta de Imunana. A água é recalçada na EEAB e percorre cerca de 15 km através de quatro tubulações com diâmetros nominais de 800mm, 1000mm, 1400mm e 1500mm até chegar a ETA. A EEAB Imunana também recalca água para outras ETAs de menor porte no município de Itaboraí.

Segundo Silva (2015), os resíduos gerados nas unidades de decantação e filtração das ETAs do complexo estudado são atualmente direcionados a dois canais de descarga e descartados num riacho afluente do Rio Alcântara. O Rio Alcântara é classificado como classe 2, segundo a resolução CONAMA 357/2005. O INEA, que é o órgão responsável pelo controle da qualidade das águas dos rios do estado do Rio de Janeiro, vem avaliando como ruim ou muito ruim o índice de qualidade da água neste rio (INEA, 2015). O índice de qualidade de água (IQA) visa avaliar a qualidade da água bruta para seu uso para abastecimento público após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são, em geral, relacionados a contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Os parâmetros são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO<sub>5,20</sub>, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total.

A ETA Laranjal foi escolhida como objeto de estudo pois Silva (2015) fez um estudo de caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos gerados nos decantadores e filtros da ETA nº1 do complexo da ETA Laranjal. O objetivo do estudo de Silva (2015), além de caracterizar o resíduo, era avaliar a possibilidade de manejo deste para reuso das águas residuais provenientes dos decantadores e filtros. Então, o foco do estudo foi a fase líquida. Para complementá-lo, foi decidido focar o presente trabalho na fase sólida dos resíduos, avaliando opções de destinação final do mesmo.

A ETA nº1 possui tratamento de água por ciclo completo convencional, ou seja, engloba as etapas de mistura rápida/coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, desinfecção, correção do pH e fluoretação. Ela é composta de quatro sistemas independentes, ilustrado na Figura 15. A Figura 16 mostra a planta baixa desta ETA nº1 e a Tabela 25 apresenta os detalhes da sua operação.



Figura 15 - Unidades da ETA n°1 onde são realizados os processos de coagulação, floculação e decantação

Fonte: Silva (2015)

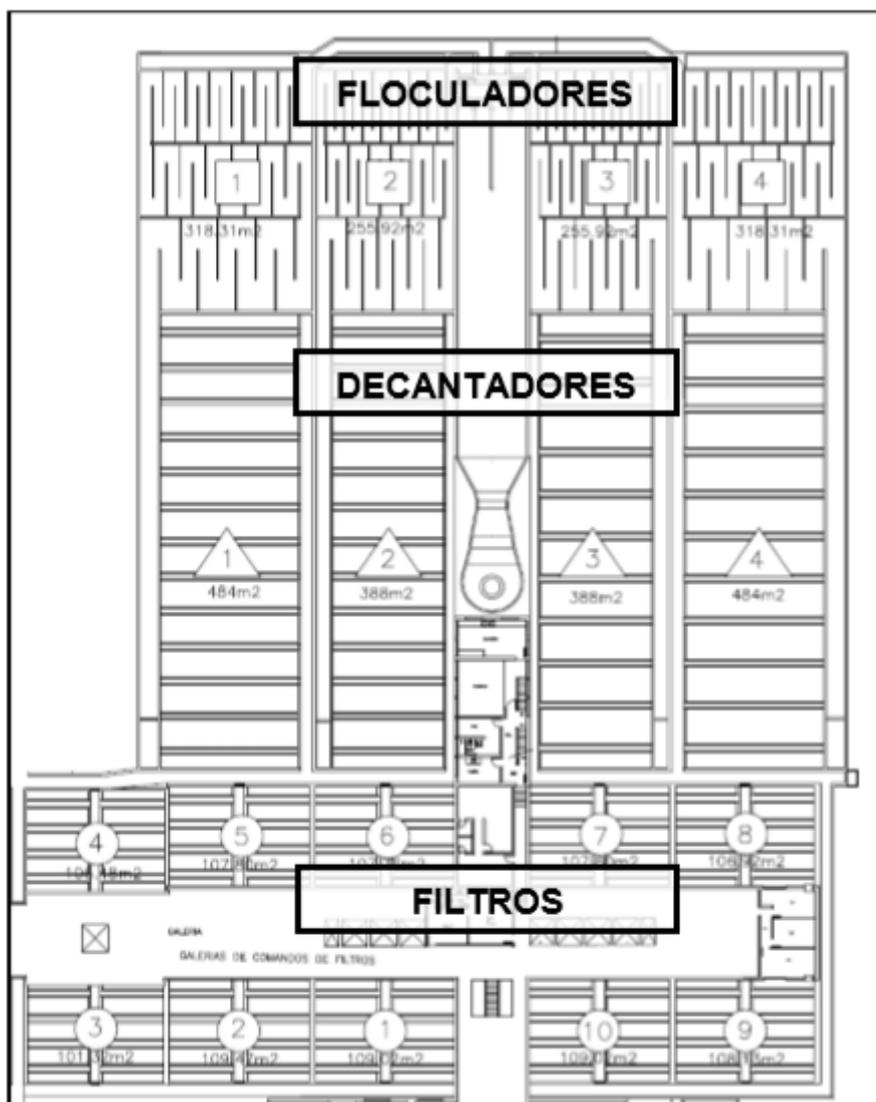


Figura 16 - Planta baixa ETA n°1 do complexo da ETA Laranjal

Fonte: Silva (2015) – adaptado do arquivo da CEDAE

Tabela 25 - Detalhes da operação da ETA n°1 Laranjal

Fonte: Adaptado de Silva (2015)

<b>ETA n°1 – Laranjal</b>		
<b>Processo</b>	<b>Local</b>	<b>Detalhes</b>
Coagulação	Calha Parshall	É adicionado na água bruta sulfato de alumínio líquido e um polímero aniônico
Floculação	4 floculadores	Os floculadores são hidráulicos. Os floculadores 2 e 3 tem área superficial de 255,92 m <sup>2</sup> e os floculadores 1 e 4 tem 318,31 m <sup>2</sup>
Decantação	4 decantadores	Os decantadores operam em fluxo ascendente nos módulos tubulares em PVC (lamelas). Os decantadores 2 e 3 possuem área superficial de 388 m <sup>2</sup> e os decantadores 1 e 4 possuem 484 m <sup>2</sup>
Filtração	10 filtros rápidos	Os filtros são de areia de fluxo descendente. Com o objetivo de sempre manter os filtros em condição de uso, há um revezamento, ou seja, oito filtros permanecem em funcionamento enquanto dois ficam em manutenção. A área superficial dos filtros é de 108 m <sup>2</sup> .

As principais linhas geradoras de resíduos na ETA n°1 são os decantadores e os filtros. Os resíduos provenientes dos decantadores são devido a dois tipos de limpeza nestas unidades: uma descarga diária de fundo com duração de três minutos para manter a espessura do lodo constante e não afetar o processo de sedimentação; e uma lavagem mensal para a limpeza interna e remoção total do lodo. Já para a limpeza do filtro, ocorre uma operação de retrolavagem com água tratada em fluxo ascendente. Os filtros são lavados em intervalos de aproximadamente 24 horas.

A Tabela 26 apresenta a caracterização qualitativa do lodo realizada por Silva (2015), enquanto a Tabela 27 apresenta a caracterização quantitativa (volume).

Tabela 26 - Análise estatística dos principais parâmetros das água residuais geradas na ETA Laranja

Fonte: Silva (2015)

	Origem do resíduo*	Número de Dados	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Variação
pH	ARLF	11	7	6	9	0,16
	ADD	15	7	6	11	0,18
	ARLD	7	7	6	8	0,07
Cor Aparente (Hz)	ARLF	11	108	26	391	1,02
	ADD	15	1825	21	12410	1,65
	ARLD	7	6967	744	15000	0,7
Turbidez (UNT)	ARLF	10	81	23	381	1,32
	ADD	15	2000	190	9600	1,5
	ARLD	7	10823	7450	15000	0,27
DBO (mg/L)	ARLF	9	11	2	22	0,78
	ADD	14	50	3	137	0,78
	ARLD	6	117	30	218	0,59
DQO (mg/L)	ARLF	9	60	45	91	0,28
	ADD	14	443	41	1789	1,07
	ARLD	7	2538	356	8827	1,16
SST (mg/L)	ARLF	9	166	74	393	0,6
	ADD	14	2077	188	8000	0,99
	ARLD	6	8556	970	16540	0,69
Al (mg/L)	ARLF	11	13,5	4,5	35,1	0,74
	ADD	14	404,2	31,4	2460	1,9
	ARLD	7	1189,1	0,5	2506,7	0,78
Fósforo Total (mg/L)	ARLF	10	0,29	0,08	0,74	0,76
	ADD	14	7,13	1,00	41,66	1,48
	ARLD	6	28,46	0,13	90,98	1,13

\*ARLF – água residual de lavagem dos filtros

ADD – água residual de descarga dos decantadores

ARLD – água residual de lavagem dos decantadores

Tabela 27 - Estimativa de volume de lodo gerada pela ETA n°1 por linha geradora

Fonte: Silva (2015)

	Mensal (L/mês)	Diário (L/dia)	(m³/s)	Proporção por linha geradora
<b>ARLF</b>	15.063.267,68	502.108,92	0,0058	10,28%
<b>ADD</b>	28.177.897,08	939.263,23	0,0108	19,22%
<b>ARLD</b>	103.358.427,74	3.445.275,43	0,0398	70,50%
<b>TOTAL</b>	146.599.592,50	4.886.647,58	0,0564	100,00%

\*ARLF – água residual de lavagem dos filtros  
 ADD – água residual de descarga dos decantadores  
 ARLD – água residual de lavagem dos decantadores

Atualmente não há nenhum tipo de tratamento do resíduo gerado na ETA, sendo assim, ele é lançado em um corpo hídrico próximo, como citado anteriormente. A Figura 17 ilustra o fluxograma da situação atual da ETA n°1 e a Tabela 28 apresenta um resumo dos dados da produção diárias dos resíduos.

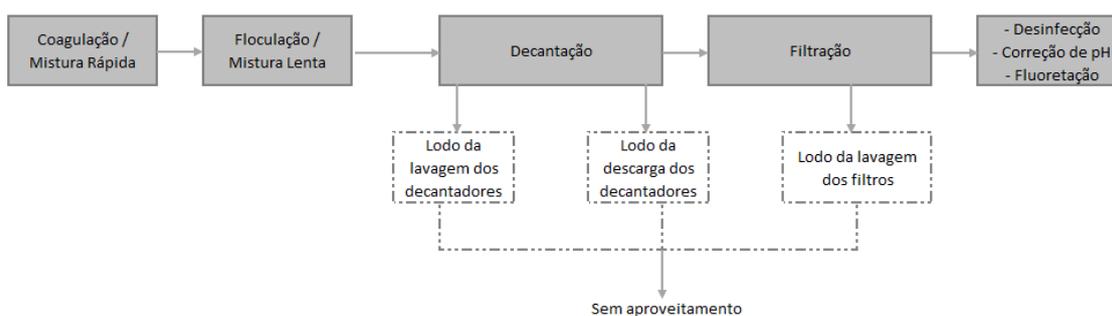


Figura 17 - Fluxograma da situação atual na ETA n°1 do sistema Laranjal

Fonte: adaptado de Silva (2015)

Tabela 28 - Dados de produção diária de lodo na ETA nº1

Fonte: Silva (2015)

DADOS DE PRODUÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS NA ETA N°1	VOLUME	MASSA SECA = CARGA SST	CONCENTRAÇÃO MÉDIA SST	DENSIDADE DO RESÍDUO MEDIDA NO DENSÍMETRO	TEOR DE SÓLIDOS
	(m³)	(kg)	(mg/L)	-	(%)
ARLF	502,11	4.287,58	8.556	1,010	0,85%
ADD	939,26	1.938,09	2.077	1,010	0,20%
ARLD	3.445,28	570,82	166	1,005	0,02%
<b>Total Resíduos</b>	4.886,65	6.796,49	-	-	1,07%

\*ARLF – água residual de lavagem dos filtros

ADD – água residual de descarga dos decantadores

ARLD – água residual de lavagem dos decantadores

É evidente o potencial poluidor do resíduo gerado, principalmente aquele da lavagem dos decantadores. O volume de resíduo produzido é alto, porém seu teor de sólidos é baixo. Com isso, é inviável realizar o manejo adequado, pois acarretará no transporte de um volume muito grande.

Para solucionar este problema, Silva (2015) sugere que seja feito um tratamento com adensador e centrífuga nas águas de descarga e da lavagem dos decantadores. A torta centrifugada terá teor de sólidos de 22% e o sobrenadante do adensador e clarificado da centrifugação será recirculado para cabeceira da ETA. Além disso, a água de retrolavagem dos filtros será recirculada diretamente para a cabeceira da ETA (Figura 18).

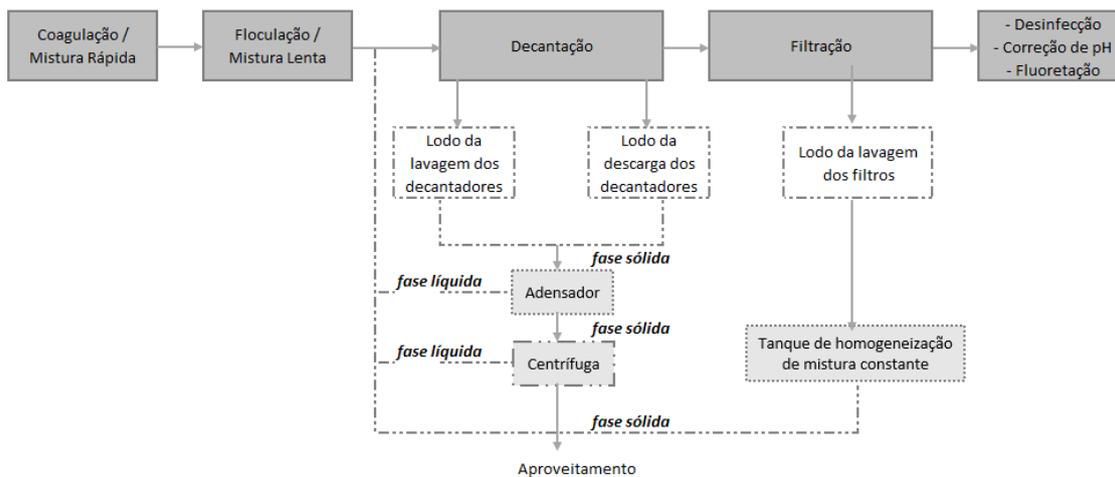


Figura 18 - Fluxograma da solução proposta para adequado manejo do lodo na ETA nº1 do sistema Laranjal

Fonte: adaptado de Silva (2015)

Portanto, para realizar o estudo de viabilidade econômica do adequado manejo do lodo gerado na ETA Laranjal será adotado as características do lodo após este tratamento. A Tabela 29 apresenta as principais características do lodo da situação atual e da solução proposta por Silva (2015).

Tabela 29 - Características do resíduo da ETA nº1 do sistema Laranjal nas duas situações

Fonte: adaptado de Silva (2015)

		Situação Atual	Solução com manejo adequado do lodo
<b>Perda Física (%)</b>		0,18	0,0109
<b>Resíduo descartado</b>	<b>Volume (m³/d)</b>	4.886,65	29,05
	<b>Massa (kg/d)</b>	53.325,58 <sup>1</sup>	6.796,49 <sup>2</sup>
	<b>Teor de sólidos (%)</b>	1,08	22

<sup>1</sup> Corresponde a massa úmida do resíduo, pois na situação atual não há manejo do lodo

<sup>2</sup> Corresponde a massa do resíduo após passar por tratamento conforme proposta de Silva (2015)

## 4. Metodologia

Primeiro, o resíduo da ETA Laranjal foi caracterizado para saber o volume para fazer o manejo adequado. Em seguida, foram selecionados os três locais de destinação final do lodo: o aterro sanitário, a indústria de cerâmica e a indústria de concreto. Por fim, foram definidos os custos a serem considerados no estudo de viabilidade econômica.

### 4.1. Quantificação do lodo da ETA Laranjal

No item 3.6. foi apresentada a ETA Laranjal e as características do lodo gerado na estação atualmente (sem tratamento) e com a proposta de tratamento de resíduos. Para realizar este trabalho será adotado que há tratamento por adensamento e centrífuga do lodo proveniente dos decantadores. Assim, a Tabela 30 indica as características de interesse para a realização do estudo de viabilidade econômica do manejo adequado do lodo.

Tabela 30 - Características do lodo para estudo de viabilidade econômica

Fonte: adaptado de Silva (2015)

<b>Volume (m<sup>3</sup>/d)</b>	29,05
<b>Massa (kg/d)</b>	6.796,49
<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	233,96
<b>Teor de sólidos (%)</b>	22

### 4.2. Seleção do destino final do lodo

Para fazer o estudo de viabilidade econômica para as três opções de destinação final do lodo é selecionado um aterro sanitário, uma fábrica de material cerâmico e uma fábrica de concreto. Estes locais são selecionados visando o menor custo de transporte do lodo.

### 4.2.1. Aterro Sanitário

De acordo com SEA (2016), os aterros sanitários, também chamados de centrais de tratamento de resíduos (CTR), localizados no leste da RMRJ, sendo assim mais próximos da ETA Laranjal, são: CTR – São Gonçalo e CTR-Itaboraí.

A CTR – São Gonçalo atende o município de São Gonçalo e grandes geradores privados do Estado do Rio de Janeiro. Ela tem capacidade de receber diariamente 2.500 toneladas de resíduos (HAZTEC, 2016). Já a CTR – Itaboraí atende os municípios de Itaboraí, Maricá, Rio Bonito, Tanguá, Guapimirim e Cachoeira de Macacu, além da RMRJ. Ela recebe resíduos de classes IIA e IIB com capacidade de 3.000 toneladas de resíduos por dia (ESTRE, 2016).

Para selecionar qual aterro será avaliado no estudo de viabilidade econômica foi verificada a distância entre eles e a ETA Laranjal com o auxílio do Google Maps. A Tabela 31 apresenta o resultado.

Tabela 31 - Distância entre CTR e ETA Laranjal

<b>CTR</b>	<b>Distância (km)</b>
São Gonçalo	9,8
Itaboraí	24

Portanto, selecionou-se a CTR – São Gonçalo. A Figura 19 ilustra o caminho entre a ETA Laranjal e a CTR selecionada. Esta rota não possui pedágios.

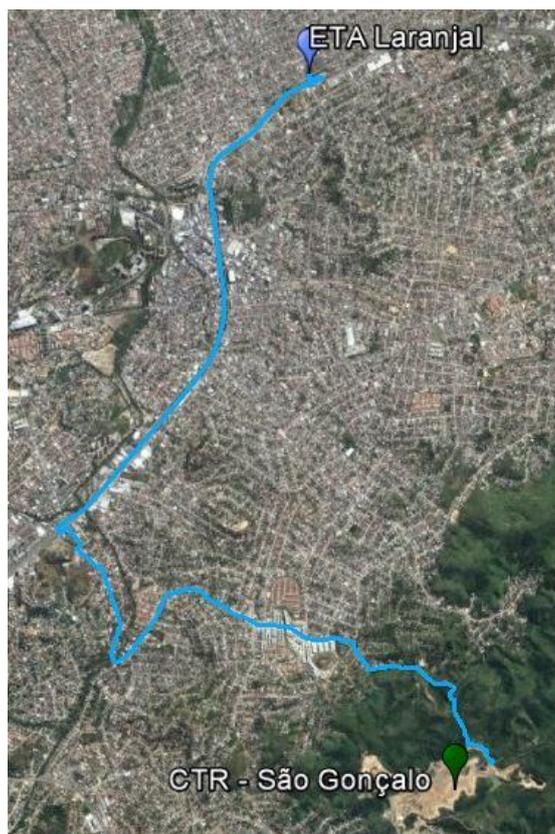


Figura 19 - Rota da ETA Laranjal até a CTR - São Gonçalo

Fonte: adaptado do Google Earth, 2016

#### **4.2.2. Indústria de Cerâmica**

Segundo INT (2012), a indústria cerâmica no Brasil representa 1% do PIB, tendo grande importância econômica para o país. No Estado do Rio de Janeiro há 207 produtoras de material cerâmico, sendo 37 olarias e 15 extratoras de matéria prima. A indústria cerâmica concentra-se em três áreas do Estado: Campos, Itaboraí e Região Serrana – Médio Vale do Paraíba. Para os fins deste trabalho focar-se-á na região de Itaboraí, pois é a mais próxima da unidade de estudo – ETA Laranjal.

O polo de Itaboraí é composto por 51 empresas, distribuídas entre os municípios conforme apresentado na Tabela 32.

Tabela 32 - Distribuição de empresas cerâmicas no polo de Itaboraí

Fonte: adaptado de INT (2012)

<b>Município</b>	<b>Quantidade de Empresas</b>
Itaboraí	30
Rio Bonito	10
Tanguá	5
São Gonçalo	3
Silva Jardim	2
Maricá	1

As empresas em São Gonçalo são: Cerâmica Marambaia, Cerâmica Monjolos e Cerâmica Monte Formoso.

Para selecionar qual delas será avaliada no estudo de viabilidade econômica foi verificada a distância entre elas e a ETA Laranjal com o auxílio do Google Maps. A Tabela 33 apresenta o resultado.

Tabela 33 - Distância entre a ETA Laranjal e Cerâmicas

<b>Cerâmica</b>	<b>Distância (km)</b>
Monte Formoso	8
Monjolos	5
Marambaia	6,9

Portanto, a cerâmica Monjolos foi selecionada para a realização do estudo. A Figura 20 ilustra o caminho entre a ETA Laranjal e a cerâmica selecionada. Esta rota não possui pedágios.

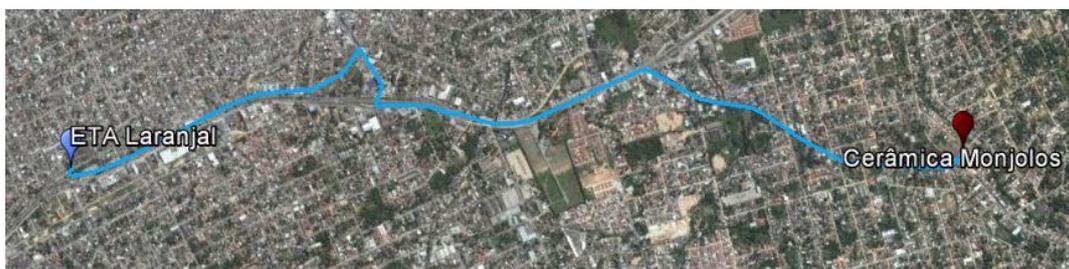


Figura 20 - Rota da ETA Laranjal até a Cerâmica Monjolos

Fonte: adaptado do Google Earth, 2016

### 4.2.3. Indústria de Concreto

Segundo PDE BRASIL (2016), no Estado do Rio de Janeiro há 13 fabricantes de blocos de concreto, sendo eles: Casalit, FLG Blocos, Multibloco, Pavibloco, Pentágono, Trelibloco, Unibloco, Brasilbloco, Consist, Mega Blocos, Pedrinco, Spar e Thacecon. A Associação Brasileira de Cimentos Portland (ABCP) emite um selo de qualidade para os fabricantes com o objetivo de atestar a conformidade dos produtos com as normas brasileiras. Dentre os fabricantes localizados no Rio de Janeiro, aqueles que possuem o referido selo para blocos vazados de concreto são listados na Tabela 34. Portanto, essas são as empresas com potencial para receber o lodo da ETA Laranjal.

Tabela 34 - Fabricantes de blocos vazados de concreto com selo de qualidade no Estado do Rio de Janeiro

Fonte: adaptado de ABCP (2016)

<b>Empresa</b>	<b>Cidade</b>
CASALIT	Duque de Caxias
CONSIST	Niterói
FLG Blocos	Campos dos Goytacazes
MEGA BLOCOS	Rio de Janeiro
MULTIBLOCO	Queimados
PAVIBLOCO	Rio de Janeiro
PEDRINCO	Nova Friburgo
PENTÁGONO	Maricá
TRELIBLOCO	Duque de Caxias

Para selecionar qual das fábricas será avaliada no estudo de viabilidade econômica foi verificada a distância entre elas e a ETA Laranjal com o auxílio do GoogleMaps. A Tabela 35 apresenta o resultado.

Tabela 35 - Distância entre a ETA Laranjal e fábricas de blocos de concreto no Estado do Rio de Janeiro com selo de qualidade emitido pela ABCP

<b>Empresa</b>	<b>Distância (km)</b>
CASALIT	60,3
CONSIST	12,4
FLG Blocos	242
MEGA	87,4
MULTIBLOCO	86,6
PAVIBLOCO	84,6
PEDRINCO	109
PENTÁGONO	36,9
TRELIBLOCO	61

Portanto, a empresa CONSIST foi selecionada para a realização do estudo. A Figura 21 ilustra o caminho entre a ETA Laranjal e a empresa selecionada. Esta rota não possui pedágios.

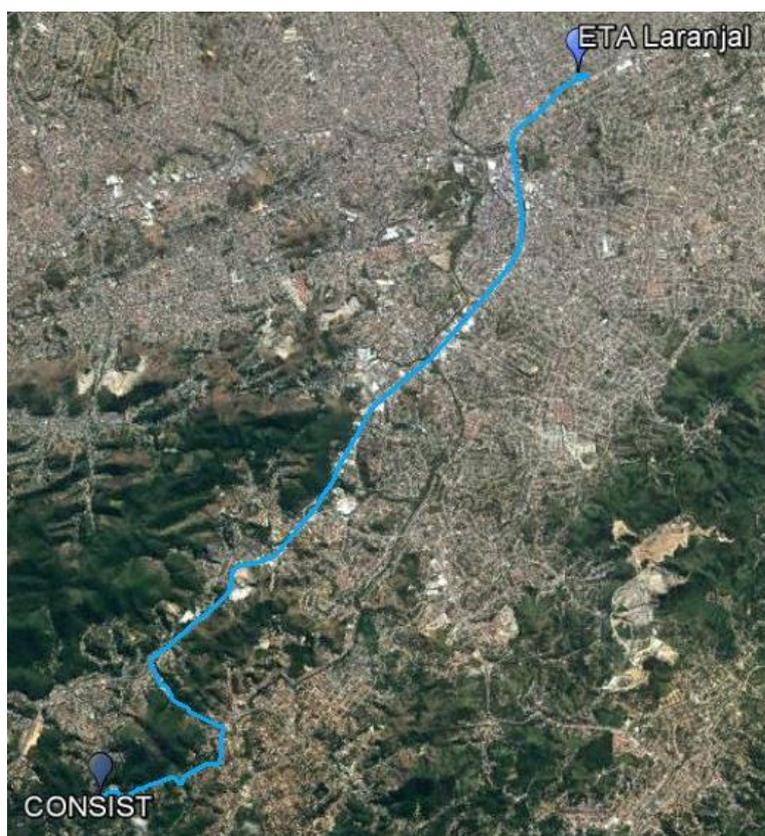


Figura 21 - Rota da ETA Laranjal até a fábrica de blocos de concreto Consist

Fonte: adaptado do Google Earth, 2016

### **4.3. Estudo de Viabilidade Econômica**

O custo de transporte é o principal condicionante no manejo do lodo de ETA. Por conta disso, definiu-se que o estudo de viabilidade econômica seria focado neste custo.

No item 3.6. explicitou-se que atualmente a ETA Laranjal não realiza tratamento dos resíduos gerados. Foi proposto por Silva (2015) que o tratamento do lodo fosse dado através de adensador e centrifuga. Como para encaminhar o lodo para qualquer uma das três opções de destino é necessário implementar o projeto da ETR na ETA. Sendo assim, pode-se considerar que este custo será equivalente em todas as rotas avaliadas neste trabalho, não interferindo portanto na escolha do destino final.

Outro custo que não será considerado é o referente às possíveis adaptações necessárias ao processo produtivo dos blocos de concreto e blocos cerâmicos, como a necessidade de construção de uma unidade de estocagem e/ou aluguel de equipamento para misturar o lodo no agregado miúdo, no caso da matriz de concreto, ou na argila, na matriz cerâmica. Isto foi definido pois depende do processo produtivo da fábrica a ser destinado o lodo e da infraestrutura já existente.

Portanto, supõe-se neste trabalho que os resíduos da ETA são tratados de acordo com a proposta de Silva (2015) e armazenados em caçambas tipo Dempster de 7 m<sup>3</sup>, que posteriormente serão transportadas até o seu destino final por caminhão poliguindaste (Figura 22). Foi adotada esta hipótese baseado no que a CEDAE faz atualmente para gerenciar os lodos gerados nas ETEs. Complementarmente, de acordo com a Resolução CONAMA 375 (CONAMA, 2006), que dispõe sobre procedimentos da utilização de lodo de ETE para uso agrícola, o transporte do lodo deve ser realizado por caminhões com carrocerias totalmente vedadas. Assim sendo, adotando esta resolução para o lodo de ETA, o transporte do lodo da ETA Laranjal será feito com as caçambas cobertas por lona plástica.



Figura 22 - Caminhão poliguindaste com caçamba tipo Dempster de 7 m<sup>3</sup>

Fonte: Mercado Hdráulico (2016)

Deste modo, será avaliado no estudo de viabilidade econômica para as três alternativas o custo de transporte e, para a opção de destinação em aterro sanitário, o custo da disposição neste.

#### 4.3.1. Custo de transporte do lodo

Para calcular o custo de transporte do lodo foi utilizada a seguinte equação:

$$D_T = \frac{P/M_e}{V_c} \times L \times C_{Tu}$$

Onde:

P = produção diária de lodo (t/dia)

M<sub>e</sub> = massa específica do lodo (t/m<sup>3</sup>)

V<sub>c</sub> = volume da caçamba onde será transportado o lodo (m<sup>3</sup>)

L = distância entre a ETA Laranjal e o destino final (km)

C<sub>Tu</sub> = custo unitário de transporte do lodo (R\$/km)

Foi verificado pela CEDAE no primeiro semestre de 2016 que o custo unitário de transporte por caminhão utilizado no transporte de lodo de ETE é de R\$ 3,50 /km. Neste valor está incluído o aluguel do caminhão poliguindaste, das caçambas, custo de pessoal e combustível. Como este valor é recente, será adotado o mesmo valor para o transporte do lodo da ETA Laranjal.

#### **4.3.2. Custo com disposição no aterro sanitário**

O custo da disposição no aterro sanitário é:

$$D_A = P \times C_{Au}$$

Onde:

P = produção de lodo diária (t/dia)

$C_{Au}$  = custo unitário de disposição em aterro sanitário (R\$/t)

Foi apresentado na Tabela 11 a estimativa de custo de disposição em aterro sanitário na RMRJ. Como o teor de sólidos do lodo da ETA Laranjal é de 22%, o custo unitário da disposição em aterro sanitário era R\$ 160,00 por tonelada no primeiro semestre de 2014. A variação da inflação entre Julho/2014 e Agosto/2016 foi de 19,14%. Logo, corrigindo o valor de acordo com a inflação tem-se que o custo unitário atual é de R\$ 191,00.

### **4.3.3. Cálculo do valor presente do custo total do manejo do lodo**

O valor presente do custo total do manejo do lodo é dado pela equação abaixo.

$$C = D_{\text{total}} \times 365 \times \frac{(1 + i)^t - 1}{i \times (1 + i)^t}$$

Onde:

C = custo total do manejo do lodo em valor presente (R\$)

$D_{\text{total}}$  = custo total diário (R\$/d)

i = taxa de desconto anual

t = tempo de projeto (anos)

Considera-se o tempo de projeto de 20 anos e a taxa de desconto anual de 12%. Esses valores são estimados pela CEDAE.

### **4.4. Análise da Legislação**

As legislações consideradas na análise crítica foram:

- NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento para abastecimento público;
- NBR 10.004: Resíduos Sólidos – classificação;
- Lei nº 12.305: Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Lei nº 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Requerimento do INEA para solicitação de outorga de lançamento de efluente.

## 5. Resultados e Discussões

### 5.1. Estudo de Viabilidade Econômica

Os parâmetros comuns a todas as alternativas de destino final são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 - Parâmetros para estudo de viabilidade econômica

Produção diária de lodo	<b>P = 6,80 t/d</b>
Massa específica do lodo	<b>M<sub>e</sub> = 0,234 t/m<sup>3</sup></b>
Volume da caçamba	<b>V<sub>c</sub> = 7 m<sup>3</sup></b>
Custo unitário de transporte	<b>C<sub>Tu</sub> = R\$ 3,50 /km</b>
Custo unitário de disposição em aterro	<b>C<sub>Au</sub> = R\$ 191,00 /t</b>
Taxa de desconto anual	<b>i = 12 %</b>
Tempo de projeto	<b>t = 20 anos</b>

#### 5.1.1. Disposição em Aterro Sanitário

O estudo de viabilidade econômica com destinação final sendo a CTR São Gonçalo leva em consideração os custos de transporte e de disposição no aterro sanitário. A distância entre a ETA Laranjal e a CTR São Gonçalo é de 9,80 km. A memória de cálculo segue abaixo.

##### Custo de Transporte

$$D_T = \frac{P/M_e}{V_c} \times L \times C_{Tu} = \frac{6,80/0,234}{7} \times 9,80 \times 3,50 \Rightarrow D_T = \text{R\$ } 142,32/\text{d}$$

##### Custo de Disposição em Aterro Sanitário

$$D_A = P \times C_{Au} = 6,77 \times 191,00 \Rightarrow D_A = \text{R\$ } 1.294,00/\text{d}$$

##### Custo Total

$$D_{\text{total}} = D_T + D_A = 142,32 + 1.294,00 \Rightarrow D_{\text{total}} = \text{R\$ } 1.436,32/\text{d}$$

## Cálculo do Valor Presente do Custo Total

$$C = D_{\text{total}} \times 365 \times \frac{(1+i)^t - 1}{i \times (1+i)^t} = 1.436,32 \times 365 \times \frac{(1+0,12)^{20} - 1}{0,12 \times (1+0,12)^{20}}$$

$$C = \text{R\$ } 3.915.911,36$$

Assim, a Tabela 37 apresenta o resultado resumido.

Tabela 37 - Estudo de Viabilidade Econômica - destinação final: CTR São Gonçalo

Distância	L =	9,80 km
Custo de transporte	D <sub>T</sub> =	R\$ 142,32 /d
Custo da disposição	D <sub>A</sub> =	R\$ 1.294,00 /d
Custo Total	D <sub>total</sub> =	R\$ 1.436,32 /d
<b>Custo do Valor Presente</b>	<b>C =</b>	<b>R\$ 3.915.911,36</b>

### 5.1.2. Reciclagem em Bloco Cerâmico

O estudo de viabilidade econômica com a destinação final sendo a Cerâmica Monjolos considera apenas os custos de transporte. A distância entre a ETA Laranjal e a Cerâmica Monjolos é de 5,00 km. A memória de cálculo segue abaixo.

#### Custo de Transporte

$$D_T = \frac{P/M_e}{V_c} \times L \times C_{Tu} = \frac{6,80/0,234}{7} \times 5,00 \times 3,50 \Rightarrow D_T = \text{R\$ } 72,61/d$$

#### Custo Total

$$D_{\text{total}} = D_T \Rightarrow D_{\text{total}} = \text{R\$ } 72,61/d$$

### Cálculo do Valor Presente do Custo Total

$$C = D_{\text{total}} \times 365 \times \frac{(1+i)^t - 1}{i \times (1+i)^t} = 72,61 \times 365 \times \frac{(1+0,12)^{20} - 1}{0,12 \times (1+0,12)^{20}}$$

$$C = \text{R\$ } 197.956,70$$

Assim, a Tabela 38 apresenta o resultado resumido.

Tabela 38 - Estudo de Viabilidade Econômica - destinação final: Cerâmica Monjolos

Distância	L =	5,00 km
Custo de transporte	$D_T$ =	R\$ 72,61 /d
Custo Total	$D_{\text{total}}$ =	R\$ 72,61 /d
<b>Custo no Valor Presente</b>	<b>C</b> =	<b>R\$ 197.956,70</b>

### 5.1.3. Reciclagem em Bloco de Concreto

O estudo de viabilidade econômica com a destinação final sendo a empresa de blocos de concreto CONSIST considera apenas os custos de transporte. A distância entre a ETA Laranjal e a CONSIST é de 12,40 km. A memória de cálculo segue abaixo.

#### Custo de Transporte

$$D_T = \frac{P/M_e}{V_c} \times L \times C_{Tu} = \frac{6,80/0,234}{7} \times 12,40 \times 3,50 \Rightarrow D_T = \text{R\$ } 180,08/d$$

#### Custo Total

$$D_{\text{total}} = D_T \Rightarrow D_{\text{total}} = \text{R\$ } 180,08/d$$

### Cálculo do Valor Presente do Custo Total

$$C = D_{\text{total}} \times 365 \times \frac{(1+i)^t - 1}{i \times (1+i)^t} = 180,08 \times 365 \times \frac{(1+0,12)^{20} - 1}{0,12 \times (1+0,12)^{20}}$$

$$C = \text{R\$ } 490.954,94$$

Assim, a Tabela 39 apresenta o resultado resumido.

Tabela 39 - Estudo de Viabilidade Econômica - destinação final: CONSIST

Distância	L =	12,40 km
Custo de transporte	$D_T$ =	R\$ 180,08 /d
Custo Total	$D_{total}$ =	R\$ 180,08 /d
<b>Custo no Valor Presente</b>	<b>C =</b>	<b>R\$ 490.954,94</b>

#### 5.1.4. Comparação entre os Estudos de Viabilidade Econômica

A Tabela 40 apresenta os resultados do estudo de viabilidade econômica das três alternativas de destinação final consideradas neste trabalho.

Tabela 40 - Resultado do Estudo de Viabilidade Econômica das três alternativas de destinação final

<b>Destino Final</b>	<b>Custo Total no Valor Presente</b>
CTR São Gonçalo	R\$ 3.915.911,36
Cerâmica Monjolos	R\$ 197.965,70
CONSIST	R\$ 490.954,94

Verifica-se que o custo total para encaminhar o lodo da ETA Laranjal para a Cerâmica Monjolos corresponde a 5% do custo relativo a disposição na CTR São Gonçalo e 40% da reciclagem em blocos de concreto na empresa CONSIST. Comparando o custo entre o encaminhamento do lodo para a CONSIST e para a CTR São Gonçalo, observa-se que a primeira corresponde a 13% da segunda.

Portanto, avaliando os custos do manejo para destinação final do lodo da ETA Laranjal na perspectiva da indústria do saneamento, conclui-se que enviar o lodo para a Cerâmica Monjolos é a melhor opção, visto que os custos envolvidos são os menores.

## **5.2. Análise Crítica dos Aspectos da Legislação**

No que diz respeito às normas técnicas brasileiras, verifica-se que a NBR 12.216 (ABNT, 1992) é uma norma antiga, sendo assim ela não considera requisitos previstos em leis posteriores, como as resoluções CONAMA 357 (CONAMA, 2005) CONAMA 430 (CONAMA, 2011) e a Portaria 2914/2011. Além disso, ela não incorpora avanços tecnológicos, como filtração por membranas.

Outra crítica a NBR 12.216 (ABNT, 1992) é a falta de determinação de parâmetros para auxiliar a definir o tratamento do resíduo gerado na ETA e a não indicação de possíveis destinos e/ou aproveitamentos do resíduo. Atualmente as características do lodo são avaliadas para, então, definir seu destino final. As características do lodo são função dos produtos químicos utilizados e da tecnologia de tratamento aplicada, que, por sua vez, deveria ser definida com base em certas condicionantes. Estas variam conforme o destino final do lodo, como, por exemplo, teor de sólidos e concentração de metais. Portanto, primeiro deveria ser selecionado o destino final do resíduo para assim conhecer os parâmetros necessário para o projeto da ETR.

Já com relação a NBR 10.004 (ABNT, 2004), observa-se que ela dificulta a reciclagem do resíduo, uma vez que o lodo pode ser classificado como resíduo perigoso, dependendo do coagulante utilizado, e isso vai contra a PNRS. Esta norma é importante para o gerenciamento dos resíduos e sua interface com a PNRS é de extrema importância para que haja incentivo aos objetivos definidos na política. É importante notar que a NBR 10.004 classifica o resíduo sólido avaliando apenas a sua origem, não fomentando assim o reuso do resíduo, ou seja, não considera a possibilidade do resíduo sólido de um processo ser matéria prima de outro. Deste modo, caso houvesse a reciclagem, a classificação segundo a NBR 10.004 deveria ser estendida ao resíduo do processo no qual o resíduo reutilizado foi incorporado.

Com relação a PNRS, seus objetivos foram citados, sendo eles: não geração, redução e reuso dos resíduos e disposição final ambientalmente adequado dos rejeitos. Na indústria do saneamento a não geração de resíduo é impossível, visto que a potabilização da água consiste em retirar poluentes que interferem na qualidade da água para consumo humano.

A redução da geração de resíduo é possível de algumas maneiras, tais como: ajuste da dosagem de coagulante, utilização de filtração por membranas como tecnologia de tratamento e manancial com água bruta de melhor qualidade. A primeira opção é possível investindo em equipamentos para auxiliar na definição da dosagem ótima, como o zetametro. A segunda reduz a produção de lodo pois não utiliza coagulante em seu processo de tratamento de água, uma vez que se trata de um processo seletivo de separação física de partículas, todavia seu resíduo torna-se mais concentrado. Além disso, a filtração por membranas possui uma demanda energética muito alta, o que pode inviabilizar o emprego desta alternativa. Por fim, para ter uma água bruta de qualidade superior é necessário realizar intervenções na bacia hidrográfica, que não é uma responsabilidade apenas da indústria do saneamento, sendo, portanto, mais difícil de controlar.

O reuso do resíduo foi discutido amplamente neste trabalho e verifica-se que há diversas alternativas de destinação final ambientalmente adequada. Estudos devem ser realizados para cada alternativa e para cada ETA, uma vez que as características dos lodos variam muito. Além disso é necessário também fazer a avaliação técnica e econômica da possível reciclagem. Por último tem-se a disposição final do rejeito, que seria o encaminhamento para aterro sanitário. Este demanda custos elevados, assim quanto menor for a quantidade de rejeito da indústria, melhor financeira e ambientalmente. Infelizmente observa-se que a PNRS ainda não é aplicada efetivamente no Brasil na indústria do saneamento.

As outorgas de lançamento de efluentes em corpos d'água são instrumentos essenciais para a gestão dos recursos hídricos. As informações solicitadas para a avaliação da liberação da outorga de lançamento do efluente de ETA são baseadas nos efluentes de ETE, todavia os dois resíduos possuem características distintas. Atualmente o parâmetro analisado é a DBO. Se os valores mais restritivos relacionado ao padrão de lançamento de efluente (Tabela 24) forem comparados com as características do lodo da ETA Laranjal (Tabela 26) seria verificado que nenhum é satisfeito. Isso reforça a necessidade de tratamento do resíduo e destinação adequada.

Com isso, seria importante avaliar parâmetros como concentração de sólidos em suspensão e concentração de alumínio, devido aos impactos negativos ao meio ambiente. Isso também fomentaria a reciclagem como destinação viável para o lodo de ETA.

Em contrapartida, vale o questionamento sobre as taxas aplicadas ao lançamento de efluentes industriais serem as mesmas de efluentes provenientes do saneamento, visto que a universalização do saneamento é um dos princípios fundamentais da política nacional do setor. As taxas são instrumentos importantes para fomentar o desenvolvimento de tecnologia para melhorar a qualidade do efluente e, conseqüentemente, reduzir os impactos ambientais. No âmbito da indústria do saneamento isso reflete no aumento de custo de produção, que não pode ser repassado diretamente para a população.

Por fim, verifica-se que não há ainda normas que sirvam de base para o desenvolvimento de projetos de manejo de lodo de ETA no Brasil. Além disso, observa-se que a indústria do saneamento, principalmente as empresas públicas e com relação ao resíduo de ETA, tem pouco interesse na regulamentação que existe a respeito de parâmetros de controle para o tratamento e destinação final do lodo.

## **6. Conclusão e Recomendações**

Neste trabalho foram pesquisadas alternativas de destinação final para os lodos de ETA e estudada a viabilidade econômica de três opções de destino para o lodo da ETA Laranjal/RJ, mais especificamente da sua ETA nº 1. As alternativas de destino foram: disposição em aterro sanitário, reciclagem na produção de material cerâmico e reciclagem na produção de bloco de concreto. Além disso, foi feita uma análise sobre a legislação existente no Brasil sobre este assunto.

Com relação ao estudo de viabilidade econômica, foi possível concluir que:

- Existem opções de destinação final ambientalmente adequadas próximas a ETA Laranjal. Há dois aterros sanitários nas imediações da estação e o município de São Gonçalo faz parte do polo cerâmico de Itaboraí, portanto há diversas opções de fábricas de material cerâmico na região. Entretanto, com relação a indústria do concreto existem menos opções próximas a ETA;

- O custo no valor presente considerando taxa de desconto de 12% ao ano e 20 anos de projeto para a disposição na CTR São Gonçalo, reciclagem na Cerâmica Monjolos e reciclagem na empresa de bloco de concreto CONSIST é, respectivamente: R\$ 3.915.911,36; R\$ 197.965,70 e R\$ 490.954,94. Foi considerado custo de transporte para a destinação final para indústria cerâmica e para indústria de concreto e custo de transporte e de disposição em aterro para a destinação final sendo aterro sanitário;
- De acordo com os resultados apresentados e analisando os custos na perspectiva da indústria do saneamento, verifica-se que a destinação do lodo da ETA Laranjal para aterro sanitário é economicamente inviável. A alternativa de reciclagem em bloco de concreto corresponde a 40% do custo de disposição em aterro e a reciclagem em bloco cerâmica, 5%;
- Analisando os custos para a indústria do saneamento a melhor opção de destinação final é a Cerâmica Monjolos.

De acordo com a pesquisa realizada, ficou claro a necessidade de manejo adequado do lodo de ETA. Entretanto, verificou-se a dificuldade do reaproveitamento, pois as características do lodo variam de acordo com a qualidade da água bruta, produtos químicos utilizados no tratamento e tecnologia usada. As experiências em escala real de reaproveitamento do lodo realizadas no Brasil foram feitas em estações cujo manancial era reservatório, sendo assim a qualidade da água bruta não varia tanto.

De qualquer maneira, a reciclagem do lodo mostra-se viável tanto na indústria de material cerâmico como na de material de concreto, sendo necessário a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica específicos para cada ETA e para cada alternativa de aproveitamento.

Já com relação a legislação existente no país, verificou-se a necessidade de atualização das normas técnicas para incorporar as regulamentações vigentes e avanços tecnológicos. Também é necessário repensar a maneira de definir o tratamento a ser dado ao lodo, sendo este em função do seu destino final. Assim, os objetivos da PNRS serão incentivados.

O requerimento de solicitação de outorgas de lançamento de efluentes no Estado do Rio de Janeiro baseia-se principalmente no resíduo gerado em ETEs, que possuem características diferentes dos resíduos provenientes de ETAs. Sugere-se que parâmetros como concentração de sólidos em suspensão e concentração de alumínio fossem avaliados além da DBO, pois são características relevantes nos efluentes de ETA e que podem causar impactos negativos ao meio ambiente. A NT-202 do INEA dispõe sobre padrões de lançamento de efluentes líquidos, inclusive sobre concentração de sólidos em suspensão e de alumínio, que poderia ser utilizado como base para a determinação da autorização da outorga.

Portanto verifica-se a necessidade de adaptação do requerimento para avaliação da liberação da outorga. Além disso, questiona-se sobre as tarifas aplicadas para setor do saneamento serem iguais a das demais indústrias, visto que pela PNSB a universalização do saneamento é um princípio fundamental e o aumento das taxas não pode ser repassado diretamente ao consumidor.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se realizar o estudo em conjunto da viabilidade técnica e econômica da utilização do lodo de ETA em algum processo industrial. A seleção da indústria seria de extrema importância para avaliar as possíveis adequações do processo produtivo e a qualidade final do produto. Outra sugestão é estudar o impacto no custo de produção de blocos cerâmicos e/ou blocos de concreto com a incorporação do lodo de ETA no processo de fabricação. Ainda se recomenda a avaliação do benefício ambiental associado a cada uma das opções de destinação final do lodo da ETA.

## 7. Referência Bibliográfica

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Selo de Qualidade ABCP / Blocos de Concreto**, 2016. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/selos-de-qualidade/blocos/selos-de-qualidade-blocos-de-concreto/>>. Acesso em: Agosto 2016.

ABNT. **NBR 12.216**: Projeto de estação de tratamento para abastecimento público. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992.

ABNT. **NBR 7.171**: Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992.

ABNT. **NBR 8.419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992.

ABNT. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - classificação. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004.

ANDREOLI, C. V. (. **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Projeto PROSAB, seção 2 Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs).

ANDREOLI, C. V. (. **Alternativas de uso de resíduo do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Projeto PROSAB.

ASCE E AWWA. **Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residual**. New York: [s.n.], 1996.

AWWA. **Handbook of practice**: water treatment plant waste management. Denver: AWWA, 1987.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. [S.l.]: ABES, 2001. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001.

BIELSCHOWSKY, M. C. **Modelo de gerenciamento de lodo de estação de tratamento de esgoto**: aplicação do caso da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014. Dissertação (mestrado), Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BRASIL. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Brasília: Diário Oficial da União, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Brasília: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. **Lei 9.605 de 13 de fevereiro de 1998**. Brasília: Diário Oficial da União, 1998.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Brasília: Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, DF, 14 de dezembro de 2011: Diário Oficial da União, 2011.

CONAMA. **Resolução CONAMA 274, de 29 de novembro de 2000**. Brasília: Diário Oficial da União, 2000.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2005.

CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília: Diário Oficial da União, 2006.

CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Brasília: Diário Oficial da União, 2011.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água**. São Carlos: [s.n.], 1993. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CORNWELL, D. A. et al. **Handbook of Practice - Water Treatment Plant Waste Management**. Denver: American Water Works Association, 1987.

DANTAS, E. **Entrevista realizada pessoalmente em Julho de 2016**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Engenheiro da CEDAE, Chefe de Departamento de Recursos Hídricos da Assessoria de Gestão Ambiental da CEDAE, responsável pela relação entre CEDAE e INEA

DAVID, A. C.; SANTOS, C. M. **Secagem de lodo da ETA Taiçupeba disposto na forma de leira em pátio coberto**. São Paulo: [s.n.], 2004. XV Encontro Técnico AESABESP. Anais Eletrônicos.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe Editora, v. II, 2008.

DIAS, L. M. **Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água - fabricação de blocos cerâmicos.** [S.l.]: [s.n.], 2004. Apresentado em: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29, San Juan.

ESTRE. Estre. **Centro de Gerenciamento de Resíduos de Itaboraí,** 2016. Disponível em: <[http://www.estre.com.br/unidades.php#CGR\\_Itaborai\\_](http://www.estre.com.br/unidades.php#CGR_Itaborai_)>. Acesso em: Agosto 2016.

GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA- Brasília.** Brasília: [s.n.], 2007. Dissertação (mestrado), Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

HAZTEC. Haztec. **CTR São Gonçalo,** 2016. Disponível em: <<http://haztec.com.br/solucoes-ambientais-completas/index.php/solucoes/centrais-de-tratamento-de-residuos#ctrsg>>. Acesso em: Agosto 2016.

HOPPEN, C. **Reciclagem de lodo de ETA centrifugado na construção civil, método alternativo para preservação ambiental.** Curitiba: [s.n.], 2004. Dissertação (Pós-Graduação), Universidade Federal do Paraná, Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: Agosto 2016.

INEA. **NT-202: Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos.** Rio de Janeiro: Diário Oficial do Estado, 1986.

INEA. **DZ 205 - Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial.** Rio de Janeiro: Diário Oficial do Estado, 2007.

INEA. **Boletim de qualidade de água.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.

INT, I. N. D. T. **Panorama da indústria de cerâmica vermelha no Brasil.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LADRILLERAS ARTESANALES DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO - EELA.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

MACIEL, P. R.; MACHADO, L. R. **Alternativas para a utilização de lodo de estação de tratamento de água (ETA) como agregado na construção civil**. [S.l.]: [s.n.], 2015. Disponível em: <[http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao\\_7\\_Patricia\\_maciel.pdf](http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_7_Patricia_maciel.pdf)>. Artigo publicado na edição 7 da revista Oswaldo Cruz.

MERCADO HIDRÁULICO. Mercado Hidráulico. **Poliguindaste Simples**, 2016. Disponível em: <<http://www.mercadohidraulico.com.br/busca-poliguindaste-simples>>. Acesso em: Setembro 2016.

MORITA, D. M. **Usos benéficos e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. [S.l.]: [s.n.], 2016. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/25d9bb34f9e0fafc83257570004ec25e/\\$file/apresentacao\\_dione.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/25d9bb34f9e0fafc83257570004ec25e/$file/apresentacao_dione.pdf)>. Apresentação realizada na UniverCEDAE no dia 31/08/2016.

PDE BRASIL. Programa de Desenvolvimento Econômico para a Indústria de Artefatos de Concreto. **Fabricantes de blocos de concreto no Estado do Rio de Janeiro**, 2016. Disponível em: <<http://www.pdebrasil.com.br/default.asp>>. Acesso em: Agosto 2016. site.

REALLI, M. A. P. (. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Projeto PROSAB, Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2001.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. D. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991.

SABESP. SABESP. **Tratamento de Água na Região Metropolitana de São Paulo**, 2016. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=36>>. Acesso em: Julho 2016.

SABESP; USP. SABESP. **Usos benéficos de lodos de estações de tratamento de água**, 2016. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/DF6C53CCF001D57A832573F00072C0DD/\\$File/sabesp\\_lodos\\_ETA.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/DF6C53CCF001D57A832573F00072C0DD/$File/sabesp_lodos_ETA.pdf)>. Acesso em: Junho 2016.

SEA. Secretaria de Estado do Ambiente. **Projeto Lixão Zero**, 2016. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=926885>>. Acesso em: Agosto 2016.

SILVA, E. R. A. D. **Avaliação estratégica para a recuperação das águas residuais da ETA Laranjal/RJ**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, J. **The management of potable water treatment sludge**: present situation in the UK. In: Management of wastes from drinking water treatment. Londres: [s.n.], 2002. International Conference, organised by The Chartered Institution of Water and Environmental Management.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014**. [S.l.]. 2014. SNSA/MCIDADES, Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, DF.

SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS PARA A REGIÃO I - SPG/DP E SEREC-SERVIÇOS DE ENGENHARIA CONSULTIVA LTDA. Recuperação das águas de lavagens, tratamento e disposição de resíduos sólidos das ETAS da RMSP. **DAE**, São Paulo, 1987.

THAMES WATER. Thames Water. **Waste - Minimisation and Recycling**, 2016. Disponível em: <<http://www.thameswater.co.uk/cr/Efficientoperations/Waste/Minimisationrecycling/index.html>>. Acesso em: Agosto 2016.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do Estado de São Paulo, 2001. Trabalho Técnico apresentado no 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. I, 2014.