

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA UNIFOR – MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CÍNTIA RAQUEL SILVA CAETANO**

**ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA**

**FORMIGA – MG**  
**2018**

CÍNTIA RAQUEL SILVA CAETANO

ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Química do Centro  
Universitário de Formiga (UNIFOR-MG), como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química  
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UNIFOR-MG

C128 Caetano, Cíntia Raquel Silva.  
Alternativas de aplicação de lodo gerado em estações de tratamento de  
água / Cíntia Raquel Silva Caetano. – 2018.  
50 f.

Orientador: Rodrigo Duarte Silva.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Centro  
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Lodo. 2. Resíduos de ETA. I. Título.

CDD 628.162

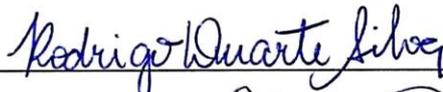
Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária  
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

CÍNTIA RAQUEL SILVA CAETANO

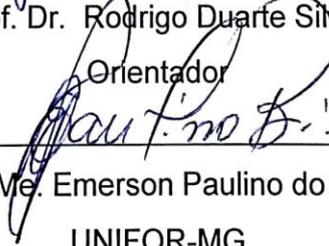
ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Química do Centro  
Universitário de Formiga (UNIFOR-MG), como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva  
Orientador



Prof. Me. Emerson Paulino do Reis  
UNIFOR-MG



Profª. Mª. Tânia Aparecida de Oliveira Fonseca  
UNIFOR-MG

Formiga, 08 de novembro 2018

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de estação de tratamento de água convencional.....	14
Figura 2 - Pontos de gerações de resíduos em uma ETA convencional.....	17
Figura 3 - Distribuição da água no floco de lodo .....	19
Figura 4 - Formas de redução de volume de lodo.....	21
Figura 5 - Espessador de lodo por gravidade de formato circular em planta .....	24
Figura 6 - Espessador de lodo por flotação por ar dissolvido de formato circular .....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção teórica de sólidos .....	18
Tabela 2 - Impactos típicos do tipo de manancial sobre a produção de resíduos ....	18
Tabela 3 - Valores dos parâmetros mais comuns do lodo de ETA.....	20
Tabela 4 - Destinação do lodo gerado nos municípios brasileiros .....	31
Tabela 5 - Características de um lodo de ETA e de uma argila usada para fabricação de produtos de cerâmica vermelha .....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resíduos possíveis gerados em processos de tratamento de água .....	17
Quadro 2 - Panorama das vantagens e desvantagens dos métodos de adensamento .....	23
Quadro 3 - Principais tecnologias de desidratação .....	29

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA:	Absorção de água
ABES:	Associação Brasileira de Engenharia Ambiental
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	Óxido de alumínio
atm.:	Atmosférica
CBUQ:	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
ETA:	Estação de tratamento de água
fc:	Resistência a Compressão
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de ferro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
G	Grama
LETA	Lodo da Estação de Tratamento de Água
Kg	Quilograma
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Mg	Miligrama
MPA	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
PAC	Cloreto de Polialuminio
PE	Pernambuco
pH	potencial Hidrogeniônico
pol	Polegada
PR	Paraná
RJ	Rio de Janeiro
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício
SP	São Paulo
SST	Sólidos suspensos totais
TRF	Tensão de Resistência à Flexão

## RESUMO

Com o aumento da globalização, cresce também a crise ambiental e com isso, se torna cada vez mais imprescindível a busca por soluções de destinação para os resíduos gerados nos diversos processos existentes nas indústrias. Dentre estes resíduos encontram-se aqueles gerados nas estações de tratamento de água (ETAs), resíduo este denominado lodo. A disposição ambientalmente correta e economicamente viável dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água é uma das grandes dificuldades das companhias de abastecimento público de água no Brasil, pois grande parte do lodo gerado em ETAs ainda é disposta em rios ou em aterros sanitários. O presente trabalho teve como objetivo discutir algumas alternativas de aplicação do lodo gerado em estações de tratamento de água, sendo elas: disposição final em aterro sanitário, aplicação em cerâmica vermelha e aplicação em concreto. Os resultados do estudo demonstraram que dentre as alternativas abordadas, a alternativa de reaproveitamento de lodo em concreto é a que se mostra mais promissora, pois a utilização do lodo não comprometeu as características do concreto, o que demonstra que essa alternativa é mais eficaz em comparação com as outras.

Palavras chave: Aterro sanitário. Cerâmica vermelha. Concreto. Lodo. Reaproveitamento. Resíduos de ETA.

## **ABSTRACT**

With the increase of globalization, the environmental crisis also grows and with this, it becomes increasingly essential the search for solutions of destination for the waste generated in the various processes in the industries. Among these residues there are those generated in water treatment plants (WTP), a residue called sludge. The environmentally correct and economically viable disposal of wastes generated at water treatment plants is one of the major difficulties for public water supply companies in Brazil, since much of the sludge generated is still disposed in rivers or in landfills. The objective of the present work was to discuss some alternatives of application of the sludge generated in water treatment plants, such as: final disposal in landfill, application in red ceramics and application in concrete. The results of the study demonstrated that among the addressed alternatives, the alternative of reuse of sludge in concrete is one of the most satisfactory, since the incorporation of sludge did not affect the concrete characteristics, which demonstrates that this is a more effective alternative in comparison with the others.

**Keywords:** Landfill. Red ceramics. Concrete. Sludge. Reuse. Residues from WTP.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS .....	12
2.1	Objetivo geral .....	12
2.2	Objetivos específicos .....	12
3.	METODOLOGIA.....	13
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	14
4.1	Estação de tratamento de água .....	14
4.1.1	Tratamento de água por ciclo completo.....	15
4.2	Geração de lodo nas ETAs .....	16
4.2.1	Caracterização de lodo na ETA.....	18
4.3	Tratamento do lodo .....	20
4.3.1	Condicionamento .....	22
4.3.2	Adensamento.....	22
4.3.3	Desaguamento.....	28
4.3.4	Disposição final de lodo da ETA .....	30
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1	Disposição de lodo em aterros sanitários .....	33
5.2	Aplicação de lodo de ETA em cerâmica vermelha .....	36
5.3	Aplicação de lodo de ETA em concreto .....	42
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da globalização, as estações de tratamento de água (ETAs) vêm buscando formas de minimizar os impactos ambientais causados pelo resíduo que é gerado no processo de tratamento de água, o qual é denominado lodo. Com o aumento da população, também há um aumento no consumo de água potável, sendo necessário o tratamento de potabilização de uma maior vazão de água para consumo, acarretando em uma maior produção de lodo.

Para que a água tratada atenda aos padrões de potabilidade, os principais processos utilizados na ETAs são: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (SABESP, 2012). A maior parte da produção de lodo ocorre nas fases de decantação e filtração devido à utilização de produtos químicos para a decantação das impurezas e pelos flocos que não sedimentam e ficam retidos na filtração.

Os lodos gerados nas ETAs são potencialmente prejudiciais ao meio ambiente e suas características dependem da água bruta, da quantidade de produtos químicos utilizados e das reações físico-químicas e biológicas ocorridas durante o processo de tratamento da água. A legislação ambiental brasileira está cada vez mais rígida quanto à disposição final deste resíduo no solo, na água e no ar. No caso da água, os recursos hídricos são classificados segundo sua vocação, e a cada classe são vinculados parâmetros mínimos de qualidade de suas águas e parâmetros limitantes para os efluentes nelas lançados (FEITOSA; CONSONI, 2008).

Segundo Andrade et al. (2014), no Brasil, grande parte das estações de tratamento de água descartam este resíduo em corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento, o que ocasiona a deterioração na qualidade dos rios e lagos. A busca por soluções para minimizar os impactos ambientais causados pelo lodo das ETA e formas corretas de dispor este resíduo resultou no desenvolvimento de novas tecnologias (FONTANA, 2004).

O lodo da estação de tratamento de água (LETA) é classificado pela ABNT (2004) como resíduo sólido, havendo assim, a necessidade de sua disposição adequada. Grande parte dos problemas enfrentados hoje está relacionada à redução da geração de resíduos, seu reaproveitamento e destinação adequada.

Há vários estudos que abordam alternativas de disposição e reuso deste lodo tais como: insumo na agricultura, disposição em aterro sanitário, incineração, uso na

fabricação de cerâmica, uso na fabricação de concreto, uso na fabricação de tijolos, recuperação de área degradada e recuperação do coagulante. No entanto, a escolha da melhor tecnologia dependerá das características qualitativas e quantitativas do lodo e das condições climáticas, sendo que cada estação terá um lodo com características distintas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica que abordasse formas alternativas de disposição final do lodo gerado em estação de tratamento de água.

### **2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- Descrever o processo de tratamento de água em uma ETA;
- Relatar como o lodo é gerado e descrever suas características;
- Descrever como o lodo gerado na ETA é convencionalmente tratado;
- Pesquisar formas alternativas de disposição final do lodo.

### **3. METODOLOGIA**

Este estudo constitui-se de uma revisão bibliográfica. Primeiramente, foi realizada uma pesquisa para elaborar um referencial teórico que se subdivide em três partes: introdução ao tratamento de água, a geração do lodo e o seu tratamento. Após o referencial, foi realizada uma pesquisa bibliográfica das várias formas de disposição desse lodo. Para este estudo foi realizada consultas a livros, periódicos e trabalhos científicos que abordam especificamente este assunto.

Neste trabalho buscou-se compreender e descrever as principais alternativas de disposição do lodo de ETA, fazendo um levantamento de várias pesquisas de diversos autores. Foi dado enfoque nos principais resultados encontrados.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

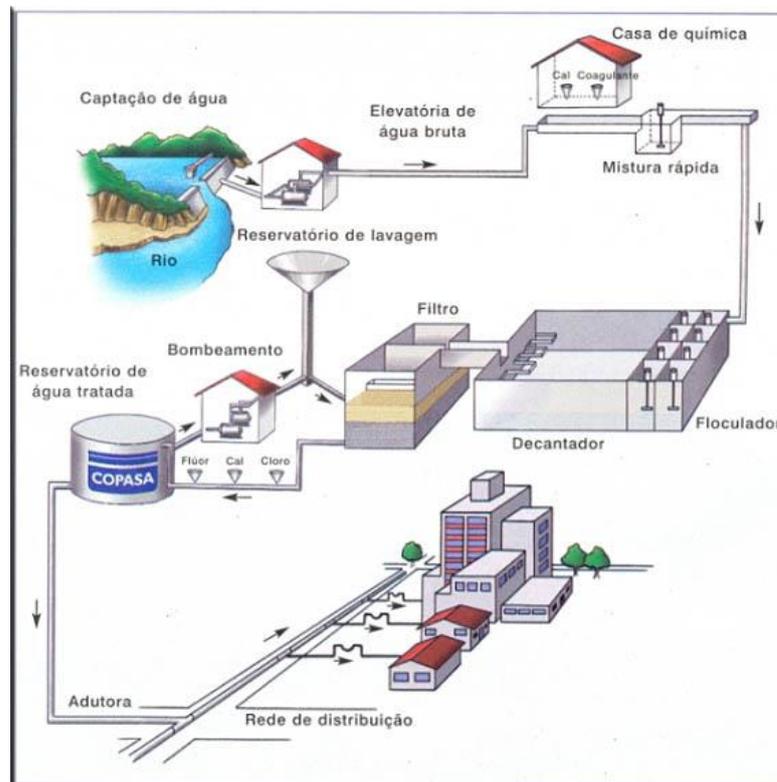
### 4.1 Estação de tratamento de água

As ETAs são responsáveis por transformar a água bruta inadequada para consumo humano em água potável, ou seja, em água para consumo humano que atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde.

No Brasil existem cerca de 7.500 ETAs, projetadas, em sua grande maioria, com ciclo completo (ACHON et al.,2013). As ETAs constituem a maior indústria em termos do número de pessoas envolvidas direta ou indiretamente no processo produtivo (CORDEIRO; CAMPOS, 1999).

No Brasil, o sistema de tratamento mais utilizado é o chamado convencional ou por ciclo completo, o qual é ilustrado na FIG.1. Ele é composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (BRASIL, 2008).

Figura 1 - Esquema de estação de tratamento de água convencional



Fonte: COPASA, 2018.

#### 4.1.1 Tratamento de água por ciclo completo

O tipo de tratamento utilizado para tratar água com grande quantidade de impurezas é o tratamento por ciclo completo, o qual é constituído por várias etapas comuns ao sistema de tratamento de água que são: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. As etapas desse tipo de tratamento são descritas a seguir (BRASIL, 2008):

- **Coagulação:** é a etapa na qual ocorre a adição de produtos químicos na água a ser tratada como, por exemplo, o sulfato de alumínio e cal, com o objetivo de aglomerar partículas sólidas que se encontram na água. A adição de produtos químicos é seguida de uma agitação violenta para favorecer a formação de partículas maiores.
- **Floculação:** após a coagulação, a água é conduzida para flocoadores, onde os flocos são formados sob agitação, que diminui gradativamente durante o processo
- **Decantação:** após a fase da floculação, a água é conduzida para os decantadores. A decantação consiste na sedimentação dos flocos formados, sendo que os flocos constituídos de impurezas ficam depositados no fundo dos tanques, separando-se da água.
- **Filtração:** após a fase da decantação, ocorre a filtração que é responsável por reter as partículas que não foram retiradas no decantador. A água atravessa tanques que são compostos por um meio filtrante constituído por pedras, areia e carvão antracito.
- **Correção de pH:** esta etapa consiste em adicionar uma certa quantidade de produto químico, como a cal hidratada ou carbonato de sódio, cujo objetivo é evitar que a água se torne corrosiva ou incrustante e não cause problemas na tubulação.
- **Desinfecção:** etapa que objetiva eliminar organismos patogênicos que não tenham sido retirados durante o tratamento. A desinfecção pode ser realizada de várias formas, sendo a adição de cloro a mais utilizada.
- **Fluoretação:** etapa na qual ocorre a adição de flúor na água tratada para prevenção de cáries nos dentes dos consumidores.

## 4.2 Geração de lodo nas ETAs

O tratamento da água bruta é de extrema importância para o ser humano, pois é a partir de seu tratamento que se obtém a água potável, livre de contaminação, e pronta para consumo humano. Porém as ETAs, como toda indústria, também podem gerar impactos ambientais.

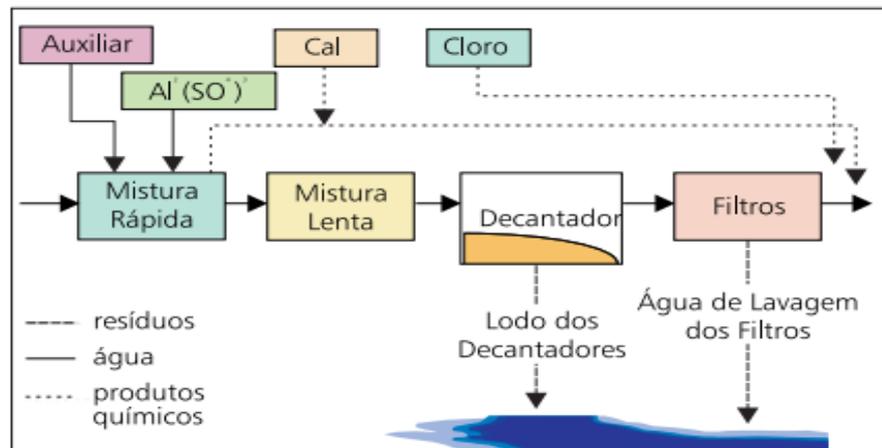
Com o crescimento populacional, há também um aumento na demanda por água potável, o que resulta em uma maior quantidade de lodo gerado nas ETAs. Devido a essa grande quantidade de resíduos gerados, as ETAs precisam dispor de forma correta todo o lodo para atender à legislação ambiental.

Segundo Reali (1999), a quantidade de lodo gerada está diretamente relacionada às características dos mananciais e dos insumos utilizados no tratamento, sendo que um mesmo manancial pode apresentar variações sazonais na qualidade da água bruta.

De acordo com Richter (2001), os lodos gerados nas ETAs “devem ser removidos periodicamente para que se possa dar continuidade ao tratamento da água bruta, mas a periodicidade desta remoção do lodo depende do sistema adotado. A porcentagem de lodo gerada encontra-se entre 0,2 e 5% do volume de água tratada pela ETA”.

Segundo Cordeiro (1999) o lodo gerado nas ETAs tem duas proveniências: o gerado no decantador por sedimentação e o gerado pela lavagem dos filtros, os quais são resultados de processos e operações utilizados durante o tratamento (FIG. 2).

Figura 2 - Pontos de gerações de resíduos em uma ETA convencional



Fonte: Cordeiro, 1999.

Para determinar quanto de lodo está sendo gerado em uma ETA, é necessário estimar dois parâmetros que segundo Reali (1999) são:

- Massa de sólidos secos presentes no lodo, obtida através de um balanço de sólidos, no qual é levado em consideração os sólidos que deverão aparecer como resíduos (QUADRO 1), e um cálculo estequiométrico dos resíduos resultantes da aplicação do coagulante químico. Na literatura é possível encontrar valores teóricos da produção de sólidos, como ilustrado na TAB. 1. A produção destes sólidos também pode ser estimada através da vazão da água a ser tratada como ilustrado na TAB. 2.

Quadro 1 - Resíduos possíveis gerados em processos de tratamento de água

Produto Químico	Proveniente de:	Aparece no Resíduo como:	Sólido
Sólidos dissolvidos	Água bruta	Sólidos dissolvidos	Somente se precipitados
Sólidos suspensos (silte)	Água bruta	Silte – sem mudança	Sim
Matéria orgânica	Água bruta	Provavelmente sem mudança	Sim
Sais de alumínio	Coagulação química	Hidróxido de alumínio	Sim
Sais de ferro	Coagulação química	Hidróxido de ferro	Sim
Polímeros	Tratamento químico	Sem mudança	Sim
Cal	Tratamento químico e correção de pH	Ou carbonato de cálcio ou, se for usado solução de cal, somente impurezas	Sim
Carvão ativado em pó	Controle de sabor e odor	Carvão ativado em pó	Sim
Cloro, ozônio	Desinfecção	Em solução	Não

Fonte: Cordeiro, 1999.

- Volume de água descartada que se encontra na massa de sólidos secos, sendo este volume dado em concentração por teor de sólidos no lodo, geralmente expresso em porcentagem (em massa) de sólidos secos presentes no lodo. Este teor depende de vários fatores como qualidade da água bruta, tipo e dosagem de produto químico, tipo e eficiência dos decantadores, etc.

Tabela 1 - Produção teórica de sólidos

Produto Químico	g de Sólidos Produzidos por g de Produto Químico
Sólidos suspensos (silte)	1,0
Matéria orgânica	1,0
Sulfato de alumínio	0,26 como $Al(OH)_3^*$
Cloreto férrico	0,66 como $Fe(OH)_3^*$
Polímero	1,0
Cal	Permite 0,1 como fração insolúvel
Carvão ativado em pó	1,0

Fonte: Cordeiro, 1999

Tabela 2 - Impactos típicos do tipo de manancial sobre a produção de resíduos

Tipo de Manancial	Faixa de Produção de Resíduos (g de Sólidos Secos por m <sup>3</sup> de Água Tratada)
Água de reservatório com boa qualidade	12-18
Água de reservatório com média qualidade	18-30
Água de rios com qualidade média	24-36
Água de reservatórios com qualidade ruim	30-42
Água de rios com qualidade ruim	42-54

Fonte: Cordeiro, 1999

#### 4.2.1 Caracterização de lodo na ETA

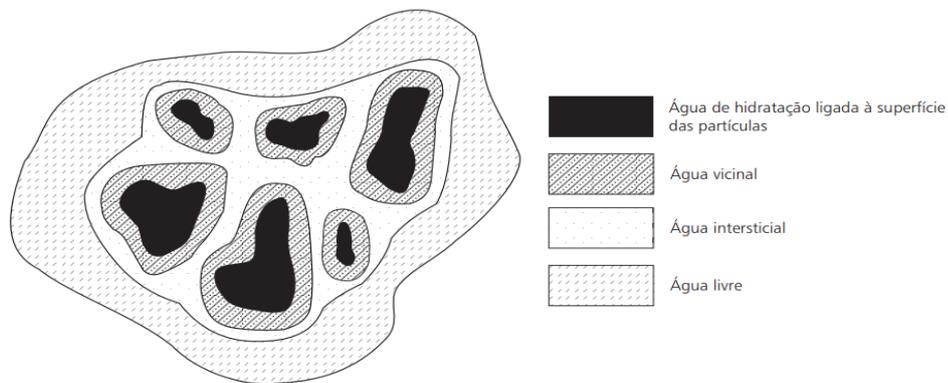
Segundo Reali (1999) os rejeitos gerados na ETA são basicamente constituídos de água e sólidos suspensos e são produtos da coagulação da água bruta e da precipitação de carbonatos utilizados para remoção de dureza nas estações de tratamento.

Qualquer tipo de lodo consiste em uma combinação entre uma fase sólida com certa quantidade de líquido. O comportamento deste líquido não deve ser erroneamente assumido como sendo igual ao comportamento habitual da água em seu estado líquido natural, pois há diferentes formas físicas da água no lodo, as quais exercem influência marcante na maior ou menor dificuldade de separação da fase líquida da sólida (REALI, 1999 p. 21-39).

Segundo RICHTER (2001) há diferentes estados físicos da água presentes no lodo como ilustrado na Fig. 3, sendo eles:

- Água livre: quando a mesma não está associada a partículas solidas.
- Água intersticial ou capilar: quando a água se encontra presa aos interstícios dos flocos.
- Água vicinal: consiste em múltiplas camadas de moléculas de água fisicamente ligadas por meio de pontes de hidrogênio.
- Água de hidratação: água quimicamente ligada à superfície das partículas solidas.

Figura 3 - Distribuição da água no floco de lodo



Fonte: Cordeiro, 1999

Segundo Cordeiro (2001), a produção destes rejeitos se dá em função da qualidade e características da água bruta, produtos químicos utilizados e suas respectivas dosagens, e o tipo de tecnologia de tratamento.

Significativas diferenças são observadas entre os resíduos de decantadores e a água de lavagem dos filtros, principalmente quanto à concentração de sólidos, adicionalmente a este parâmetro os resíduos podem ser caracterizados determinando: DQO, sólidos totais e suspensos, pH, e concentração de metais. Além de parâmetros não convencionais, tais como: filtrabilidade, sedimentabilidade, tamanho e distribuição de partículas (CORDEIRO, 2001, p. 2)

A determinação destes parâmetros é fundamental para a definição de condições de lançamento do lodo ou para projetos de sistemas de remoção de água do lodo (CORDEIRO, 2001).

Na TAB. 3 elaborada por Wagner e Pedroso (2014), são indicados os valores mais comuns do lodo de ETA, reportadas na literatura por alguns autores.

Tabela 3 - Valores dos parâmetros mais comuns do lodo de ETA

	Cordeiro, 2001	Lombardi, 2009	Sena, 2011	Silveira, 2012
pH	7,2 – 8,93	8,70 – 8,85	5,4 – 7,0	ND*
DQO (mg/L)	140 – 5.450	83 – 206	2.483 – 15.985	814,5 – 2.540
ST (mg/L)	1.620 – 58.630	1.132 – 2.120	2.596 – 77.280	9.150 – 12.790
Al (mg/L)	2,16 – 11.100	< 0,01	3– 8.749	237,6 – 757,7
Zn (mg/L)	0,10 – 48,53	0,44 – 1,68	1,970 – 109,700	0,42 – 0,55
Pb (mg/L)	0,00 – 1,60	< 0,01	0,050 – 33,500	0,00 – 0,41
Cd (mg/L)	0,00 – 0,27	< 0,0006	0,003 – 8,574	0,00
Ni (mg/L)	0,00 – 1,80	< 0,008	0,250 – 0,380	0,094 – 0,10
Fe (mg/L)	214 – 5.000	90,60 – 282,00	652 – 195.631	324,30 – 545,60
Mn (mg/L)	3,33 – 60,00	0,92 – 2,80	15,06 – 3.290,10	7,72 – 13,71
Cu (mg/L)	1,70 – 2,06	0,09 – 0,18	2,520 – 1.167,40	0,60 – 1,29
Cr (mg/L)	0,19 – 1,58	0,08 – 0,12	0,250 – 34,830	0,24 – 0,34

Fonte: Wagner & Pedroso, 2014.

Andreoli et al (2006) afirma que algumas características do lodo de ETA são dependentes de condições socioambientais e economias regionais, e que não existem informações na bibliografia nacional ou internacional sobre as características sanitárias e de agente patógenos nos lodos da ETA.

### 4.3 Tratamento do lodo

Segundo Reali (1999) as estratégias de tratamento e disposição final de lodos de ETAs envolvem diversas opções e técnicas cuja importância são fortemente influenciadas por diversos fatores, como as características do lodo, área disponível, clima local, condições socioeconômicas, culturais e ambientais da região onde sistema de tratamento de lodo será implantado.

Para que ocorra a disposição do lodo, é necessário que haja um tratamento específico para a redução de seu volume, diminuindo assim os riscos de poluição no meio ambiente. O tipo de tratamento escolhido vai depender dos objetivos a serem alcançados como, por exemplo, destino final, tecnologia e espaço disponível (Richter, 2001).

Uma vez que a ETA é vista como uma indústria, seu efluente é tratado como resíduo industrial. Sendo assim, deve ser sujeitado ao gerenciamento de resíduos

sólidos, passando pela minimização da geração dos resíduos, reutilização, reciclagem e disposição final (SALUM,2016).

O tratamento dos lodos de uma estação de tratamento de água visa obter condições adequadas para sua disposição final. Ele deve estar em estado sólido ou semissólido e, portanto, é necessária a remoção de água para concentrar os sólidos e diminuir o seu volume. Em suma, trata-se de aplicar algum método de separação sólido-líquido, realizada habitualmente por dois modos: filtração e separação gravitacional. (RICHTER,2001).

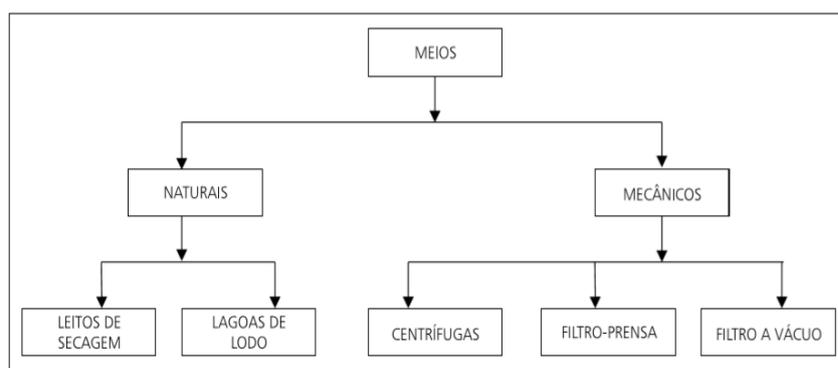
O tratamento envolve vários processos como de condicionamento, adensamento, desaguamento, estabilização, secagem térmica e incineração, sendo que as escolhas destes processos dependem da disposição final. As etapas de adensamento e desaguamento visam a redução de umidade do lodo, sendo que essa redução pode ser feita de diversas formas (CORDEIRO, 1999).

Como já citado anteriormente há vários estados físicos da água presentes no lodo, sendo que cada um destes estados pode ser separado de diversas maneiras.

Segundo Richter (2001), a água livre pode ser separada dos sólidos por gravidade ou por filtração, em adensadores por gravidade ou por flotação ou ainda em decantadores centrífugos. Já a água capilar e de hidratação só pode ser removida na filtração pela ação de gradientes de pressão que vençam suas tensões superficiais. Os equipamentos mecânicos mais utilizados para essa finalidade são os filtros a vácuo, filtro prensa e prensa desaguadora.

De acordo com Cordeiro (1999), vários métodos podem ser utilizados no processo de remoção de água (FIG.4). Esses métodos podem ser classificados como sistemas naturais ou mecânicos.

Figura 4 - Formas de redução de volume de lodo



Fonte: Cordeiro (1999)

### **4.3.1 Condicionamento**

Para que haja um melhor desempenho nos processos de remoção de água do lodo, é preciso que esse lodo passe por um condicionamento físico ou químico para a remoção dos coagulantes utilizados no processo de tratamento de água.

Segundo Reali (1999) o condicionamento físico do lodo consiste em um congelamento e descongelamento do lodo, sendo empregado somente em países frios por ser um processo caro quando não realizado de formas naturais. Já o condicionamento químico, o mais utilizado, consiste na adição de produtos químicos como a cal e soluções aquosas contendo polímeros sintéticos que podem ser classificados como aniônicos, catiônicos ou não iônicos

Os polímeros sintéticos são os mais utilizados para o condicionamento químico na etapa de adensamento. Utilizando as técnicas de sedimentação ou de flotação, a dosagem indicada de polímeros varia de 0 até 10 miligramas de polímero por grama de sólidos suspensos totais (mg pol/g de SST). Já a dosagem referente à técnica por meios mecânicos depende das especificações do fabricante do equipamento (HEDLUND, 2016).

### **4.3.2 Adensamento**

O adensamento é a primeira etapa do processo de tratamento do lodo e uma das mais importantes operações unitárias envolvidas no processo. Ele pode ser realizado por três técnicas diferentes: sedimentação (gravidade), flotação e por adensadores mecânicos, sendo as duas primeiras técnicas as mais utilizadas. Esta etapa do processo consiste em concentrar os sólidos presentes no lodo, de forma a reduzir sua umidade e, conseqüentemente, o seu volume. (TRANSVERSAL,2008)

Nesta etapa, cada técnica de adensamento escolhida apresenta vantagens e desvantagens como é mostrado no QUADRO 2.

Quadro 2 - Panorama das vantagens e desvantagens dos métodos de adensamento.

Vantagens	Desvantagens
<b>Sedimentação por batelada</b>	
Não requer pessoal qualificado;  Recomendada para lodos de abrandamento de água, os quais sedimentam com facilidade.	Necessidade maiores áreas de implementação comparada com outras técnicas de adensamento.
<b>Adensamento por Flotação</b>	
Eficiente na remoção de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> ;  Pode operar com maiores taxas de aplicação de sólidos, permitindo unidades mais compactas.	O sistema apresenta altas taxas de recirculação;  Altos custos de implementação, operação e manutenção.
<b>Adensamento Mecânico</b>	
Necessita menores áreas de implementação, comparada com outras técnicas de adensamento;  Apresenta baixo custo de operação e adensa rapidamente os resíduos.	A unidade necessita de energia e de manutenção especializada;  Custos de implementação podem ser altos, comparada aos outros métodos de adensamento;  Limpeza do meio filtrante pode ser complicada; o controle da dosagem de polímeros pode ser complicado.

Fonte: Hedlund, 2016.

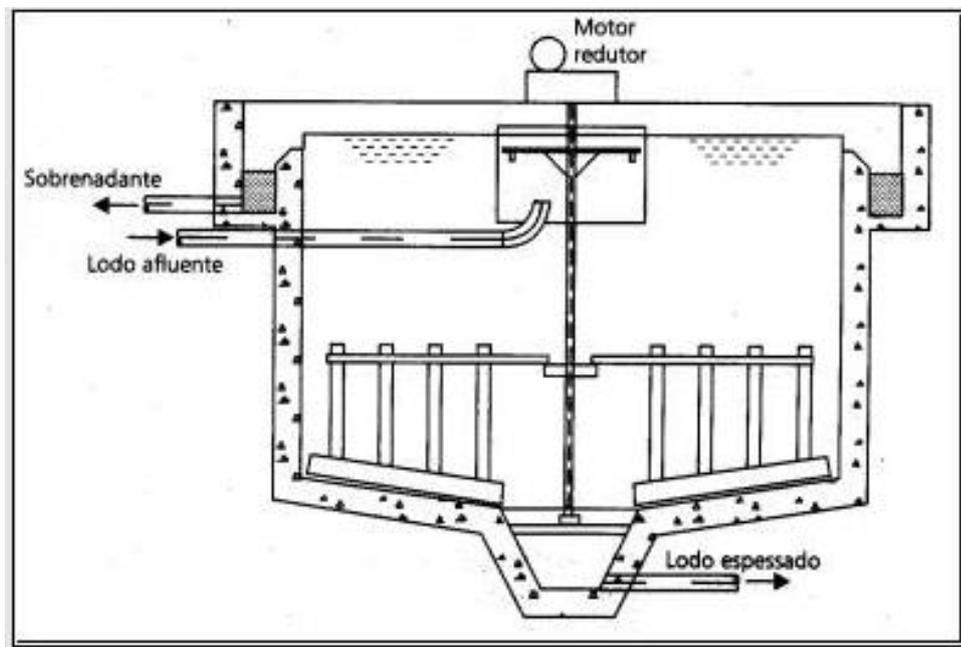
Vários fatores podem interferir no processo de adensamento do lodo como, por exemplo, a viscosidade do líquido, o tamanho das partículas, a quantidade de sólidos contidos nele e, portanto, se faz necessária a adição de produtos químicos principalmente de polímeros sintéticos.

A seguir são explicadas as técnicas de adensamento utilizadas no processo de tratamento do lodo de ETA:

a) Adensamento por sedimentação ou gravidade

O adensamento por gravidade, ilustrado na FIG. 5, é o mais antigo e disseminado no mundo, sendo o mais utilizado no Brasil para o processo de tratamento do lodo de ETA. Esse processo pode ser realizado de forma contínua ou em batelada (REALI, 1999, p. 49) (HEDLUND, 2016).

Figura 5 - Espessador de lodo por gravidade de formato circular em planta



Fonte: Cordeiro, 1999.

No adensamento por batelada uma porção de lodo é conduzida a um tanque onde é deixada decantar por algumas horas. Então, o sobrenadante clarificado é removido e, em seguida, o lodo adensado depositado no fundo é retirado. (RICHTER, 2001, p.29). O adensador por batelada geralmente tem o fundo em forma de pirâmide, para retirada do lodo sedimentado (BRASIL,2008, p. 70)

Os adensadores contínuos são geralmente circulares, assemelhando-se aos decantadores de manto de lodos. Seus principais constituintes são: uma entrada central com um defletor, que distribui o lodo no fundo; um raspador de lodo para mover os sólidos decantados para um poço de onde o lodo é removido; paletas verticais fixadas no raspador; vertedor e canalização de saída de água clarificada (Richter, 2001, p. 31)

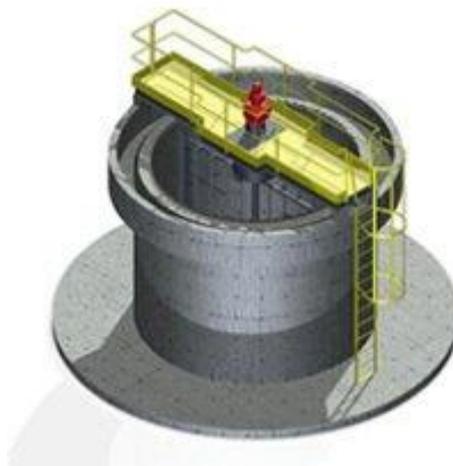
Segundo Richter (2001, p.32), no adensamento contínuo o lodo entra próximo ao centro do defletor, flui para baixo e se deposita no fundo do tanque, onde se nota uma superfície de separação com a água clarificada se movendo para cima. O raspador agita o lodo e o move para o poço de descarga onde o sobrenadante é removido por um vertedor periférico.

#### b) Adensamento por Flotação

A flotação é um processo de separação por densidade, que consiste na separação da fase sólida do líquido em suspensão. Este método é também utilizado no adensamento de lodos e, de acordo com Richter (2001), funciona de forma semelhante ao adensamento por gravidade, porém de forma reversa. O Espessador de lodo por flotação é ilustrado na Fig. 6.

No sistema de flotação a ar dissolvido, as partículas sólidas são removidas da água fazendo-as flutuar (flotar) reduzindo sua densidade pela adesão de pequeníssimas bolhas de ar. Neste processo as bolhas de ar são geradas pela súbita redução de pressão na corrente líquida saturada de ar, proveniente da câmara ou tanque de saturação. Por meio de uma bomba, uma pequena quantidade da água clarificada é elevada à pressão de 4,4 a 5,5 atm e conduzida ao tanque de saturação onde se torna saturada de ar alimentado por um compressor. Esta água que é recirculada no sistema, vê sua pressão diminuída bruscamente, liberando uma grande quantidade de microbolhas de ar, que aderem aos flocos já formados, fazendo-os flutuar. Os flocos sobem e se acumulam na superfície do tanque, formando uma capa de lodo de espessura crescente, que se remove periodicamente mediante raspadores superficiais. (RICHTER, 2001, p. 34).

Figura 6 - Espessador de lodo por flotação por ar dissolvido de formato circular



Fonte: Portal Tratamento de Água, 2018.

c) Adensamento Mecânicos

Este tipo de adensamento é realizado por meio de equipamentos mecânicos e há quatro tipos de adensadores mecânicos: adensador mecânico de esteira ou mesa gravimétrica, adensador dinâmico helicoidal e tambor rotativo; adensador de disco ou circular e adensador parafuso (RICHTER ,2001).

Segundo Hedlund (2016) o adensador de esteira, ilustrado na FIG.7, é constituído por uma esteira com diversos raspadores, sendo a água retirada parcialmente. O consumo de polímero varia de 1 a 3,5 g pol./kg de SST.

Figura 7 - Adensador de mesa gravimétrica



Fonte: Huber, 2018.

O adensador dinâmico helicoidal e tambor rotativo, ilustrado na FIG. 8 é constituído por tambor perfurado que gira devagar. Durante sua rotação, a água passa pela tela de filtro, é eliminada e os sólidos ficam retidos no mesmo (HEDLUND, 2016).

Figura 8 - Adensador dinâmico



Fonte: NEI, 2011.

O adensador circular, ilustrado na FIG.9, é uma mistura do sistema mecânico e estático no qual o lodo, após a adição de polímeros, é encaminhado para um tanque de reação e se deposita na superfície do disco de filtração (HEDLUND, 2016).

Figura 9 - Adensador circular



Fonte: Hidrosul, 2018.

O adensamento do tipo parafuso, ilustrado na FIG. 10, é constituído de um reator de floculação, uma cesta para a coleta dos resíduos sólidos e um parafuso que gira o lodo lentamente encaminhando-o para a parte superior (HEDLUND, 2016).

Figura 10 - Adensador parafuso



Fonte: Huber Technology, 2018.

### 4.3.3 Desaguamento

No desaguamento procura-se aumentar a concentração de sólidos reduzindo o percentual de água no lodo e diminuindo a quantidade a ser disposto ou reutilizado. Em qualquer técnica de desaguamento é desejável obter torta de lodo com concentração de SST superior a  $200 \text{ g L}^{-1}$ , ou teor de SST superior a 20% em massa (HEDLUND, 2016).

A realização do desaguamento pode se dar por meio de duas formas: o mecanizado e o não mecanizado (HEDLUND, 2016):

a) Desaguamento mecanizado

O desaguamento mecanizado é muito utilizado em substituição aos meios naturais. Os equipamentos que podem ser utilizados neste desaguamento são:

centrifugas, filtros prensa de esteira, filtros prensa de placas, filtros a vácuo e prensa desaguadora tipo parafuso (PEREIRA, 2011; HEDLUND ,2016; RICHTER ,2001).

No QUADRO 3 é apresentado as principais aplicações e limitações dos principais processos de desaguamento.

Quadro 3 - Principais tecnologias de desidratação

Técnica	Aplicações	Limitações	Custo Relativo
Prensa desaguadora	Capaz de obter um lodo relativamente seco, com 40-50% de sólidos secos. Lodo de sulfato 15 a 20%.	Sua eficiência é muito sensível as características da suspensão.  As correias podem se deteriorar rapidamente na presença de material abrasivo	Baixo
Decantação centrífuga	Capaz de obter um lodo desidratado com 15-35% de sólidos. Lodo de sulfato 16-18%. Lodos de cal desidratam mais facilmente. Taxa de captura de sólidos entre 90-98%. Adequada para áreas com limitação de espaço	Não tão efetiva na desidratação como filtração.  O tambor está sujeito a abrasão	Médio
Filtração prensa	Usado para desidratar sedimentos finos. Capaz de obter torta com 40-50% de sólidos em lodos de cal, com uma taxa de captura de até 98%	Necessita a aplicação de cinza e cal. Elevação do pH a 11.5.  Troca do meio filtrante demorada.  Elevado custo operacional e de energia	Alto
Filtro rotativo a vácuo	Mais indicado para desidratar sedimentos finos granulares, podendo obter torta de até 35-40% de sólidos e uma taxa de captura de 88-95%	É o método menos eficaz de filtração.  Elevado consumo de energia.	Mais alto

Fonte: Richter (2001).

#### b) Desaguamento não mecanizado

O desaguamento não mecanizado, como o nome já indica, é aquele que não utiliza meios mecânicos, utilizando apenas agentes naturais como a gravidade e a evaporação. Este processo pode ser realizado por meio de leitos de secagem, lagoas de lodo e filtração por geotêxtil (REALI, 2001; HEDLUND, 2016).

Os leitos de secagem são constituídos por tanques rasos e o processo de desaguamento consiste em sedimentação, drenagem e evaporação. De acordo com Reali (1999) ocorre em um ciclo de duas fases: enchimento e secagem, sendo que a fase de enchimento pode ocorrer em um período de 15 a 30 dias e a de secagem em um período de três semanas ou mais.

Além dos leitos de secagem, as lagoas de lodo também são boas alternativas, possuem baixo custo e um sistema parecido com o dos leitos de secagem. O processo de remoção da água do lodo também constituído de três fases: drenagem, evaporação e transpiração.

Por fim há o desaguamento por geotêxtil no qual, de acordo com Hedlund (2016), a água passa por microporos da manta de geotêxtil e o excesso de água é drenado, aumentando a concentração de sólidos. As mantas geotêxtis, que são permeáveis, são produzidas a partir de polímeros e fibras sintéticas como polietileno, poliamida, poliéster e polipropileno (SILVEIRA,2012).

Por fim, a escolha do sistema de desaguamento mais adequado deve ser em função de aspectos técnicos e econômicos, sendo a seleção do equipamento mais apropriado uma função das características do lodo a ser desaguado, das características exigidas para o resíduo sólido, tanto tendo em vista o seu transporte e quanto a sua disposição final (PEREIRA, 2011).

#### **4.3.4 Disposição final de lodo da ETA**

Após as fases de adensamento e desaguamento do lodo da ETA, ocorre a sua disposição final.

A definição final do destino do lodo configura a segunda etapa mais importante no seu tratamento e uma das mais difíceis para os administradores do sistema por envolver elevados custos de transporte e diversas restrições ambientais (RICHTER, 2001).

Tradicionalmente no Brasil o destino dos lodos de ETA tinha sido ao longo dos anos somente os sistemas hídricos mais próximos. Ao contrário dos resíduos gerados em estações de tratamento de esgotos, somente a partir de 2002, começou a existir uma preocupação com os lodos gerados em ETA, devido à inclusão de ETA na relação apresentada no Artigo 57 do Decreto Estadual nº 8.468/1976, alterado pelo Decreto Estadual nº 47.397/2002, onde se aponta quais são as atividades ou os sistemas que são considerados como fontes de poluição para efeito de obtenção de licenças prévia, de instalação e operação (PEREIRA, 2016, p.22).

O despejo de lodo em cursos d'água de acordo com Moreira (2005) “contribui para o consumo de oxigênio dissolvido na água, acarretando condições anaeróbias, com produção de odores, crescimento excessivo de algas e mortandade de peixes”.

Diante da preocupação com as consequências provocadas no meio ambiente com a destinação inadequada deste resíduo, fez-se necessário adotar outras práticas para sua destinação.

Além do lançamento de lodo em cursos d'água há diversas formas de destinos finais para os lodos de ETA que são: aterros sanitários, disposição no solo, co-disposição com biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos, incineração dos resíduos, lançamento na rede coletora de esgoto e aplicações industriais diversas tais como fabricação de tijolos ou outros materiais de construção (UNICAMP, 2012).

Segundo uma pesquisa do IBGE realizada em 2008, de um total de 5.564 municípios brasileiros, 2.098 produziam lodo no processo de tratamento da água. A destinação que o município dá para o lodo gerado na ETA é diversa, podendo um mesmo município dar mais de um destino para o lodo gerado. Na TAB. 4 são apresentadas as destinações mais comuns nos municípios brasileiros.

Tabela 4 - Destinação do lodo gerado nos municípios brasileiros

Destino do lodo gerado	Número de municípios
Rio	1415
Mar	7
Terreno baldio	463
Aterro sanitário	83
Incineração	1
Reaproveitamento	50
Outros	247
TOTAL	2098

Fonte: Adaptado IBGE, 2008.

Várias são as formas possíveis de serem adotadas para a destinação do lodo gerado na ETA, sendo que a melhor escolha vai depender da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disposição correta de lodos gerado em ETAs, além de ser algo benéfico para o meio ambiente, por minimizar impactos ambientais, é também uma oportunidade de lucro. A seguir, é apresentada uma revisão bibliográfica de três formas alternativas de dispor o lodo de ETA.

### 5.1 Disposição de lodo em aterros sanitários

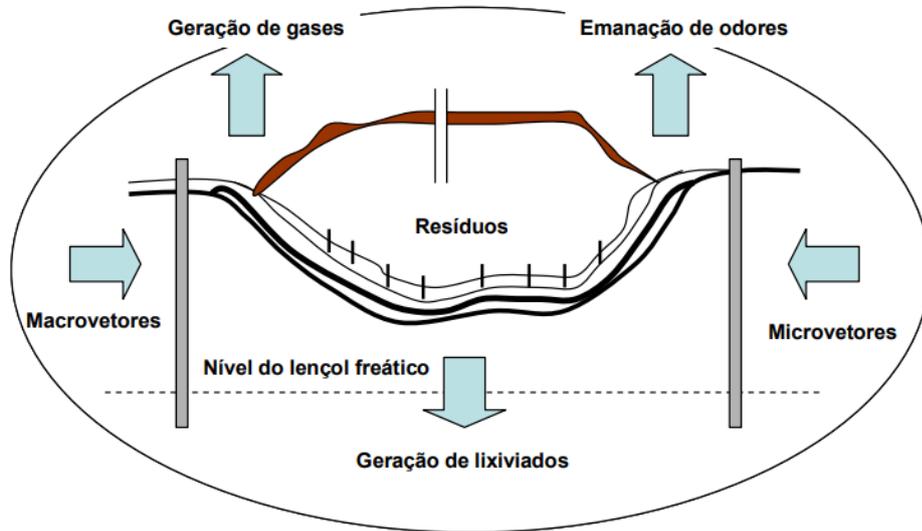
A NBR 10004:2004 classifica o lodo de ETA como Classe II A, um resíduo sólido não inerte e não perigoso, podendo ser disposto em aterros sanitários particulares ou municipais (NBR 10004:2004).

É definido pela NBR 8.419 (ABNT, 1992) que o aterro sanitário é 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

O aterro sanitário apresenta-se como uma alternativa ainda viável para o tratamento e a disposição final de lodos de ETAs no Brasil, devido à disponibilidade de áreas economicamente acessíveis nas cidades de pequeno e médio porte (BIDONE et al, 2001).

Aterros sanitários são hoje, o meio mais utilizado e de menor custo para a estocagem de resíduos sólidos urbanos, porém o fato de estarem estocados não quer dizer que estejam inativos. As condições de armazenagem, bem como as influências de agentes naturais (chuva e microrganismos) ativam processos físicos, químicos e biológicos de transformação. Os elementos naturais são dissolvidos, a água desprende finas partículas e o principal responsável pela degradação dos resíduos é a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas. Com isto, temos a formação de biogás e os lixiviados como é ilustrado na FIG. 11 (CASTILHOS JR, 2003, p. 12).

Figura 11 - Principais impactos ambientais resultantes da disposição de resíduos em aterros sanitários



Fonte: CASTILHO JR, 2003

Segundo Richter (2001) para dispor o lodo no aterro sanitário, é necessário que este lodo passe por um tratamento para que possa reduzir gastos com transporte e alcançar o teor de sólidos requerido pelo aterro. Para que este método de destinação possa ser viável, recomenda-se desidratar o lodo a um teor de sólidos de no mínimo 20%.

A presença de alguns compostos químicos, tais como íons metálicos, utilizados no processo de tratamento de água, pode constituir um obstáculo para os aterros que não aceitam materiais sólidos, tornando esta operação restrita (HOPPEN, 2004).

De acordo com Andreolli (2006) a necessidade de redução da umidade dos lodos de ETA se dá também pela codisposição deste resíduo com os resíduos domésticos. Segundo Morita (2016) 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.

Os lixiviados são provenientes de três fontes principais: a umidade natural dos resíduos, a água que sobra durante o processo de decomposição, e o líquido proveniente de materiais orgânicos expelidos pelas bactérias em forma de enzimas.

O entendimento do processo hidrológico é fundamental para a verificação da influência dos lixiviados no meio (CASTILHOS JR, 2003).

Para dispor o lodo em aterro sanitário é necessário que haja uma desidratação deste lodo. O processo de desidratação pode ser realizado por processos mecânicos ou não mecânicos como já foi discutido anteriormente no referencial teórico.

Guerra (2005) verificou a viabilidade da disposição final, em aterro sanitário, dos sólidos resultantes dos processos de secagem do lodo de duas ETAs: ETA de Capim Fino e de Rio Claro<sup>[RDS1]</sup>. Os ensaios de biodegradação foram realizados pelo método respirométrico de Bartha a fim de verificar a influência da aplicação de diferentes proporções de mistura do lodo de ETA com o solo do aterro sanitário do município de Rio Claro. Os resultados indicaram que a aplicação de lodo ao solo do aterro sanitário não interferiu de forma negativa no processo de biodegradação, indicando que os sólidos resultantes do processo de secagem dos lodos estudados, juntamente com o solo utilizado na cobertura das células do aterro sanitário do município de Rio Claro, são viáveis.

Rodriguez et. al. (2011) estudou a viabilidade da substituição do solo utilizado como camada de cobertura ou de impermeabilização de fundo pelo lodo desidratado da ETA Cafezal de Londrina – PR e traços solo-lodo. O objetivo do estudo era avaliar se o lodo do decantador, após a desidratação, pode ser disposto em aterros sanitários já que os metais presentes no lodo desidratado não lixiviam e, portanto, não causam problemas ambientais. Para este estudo, foram realizados ensaios de desidratação em leitos de secagem e drenagem com manta geotêxtil e, em seguida, foi realizado o teste de lixiviação. Os resultados do ensaio em colunas de lixiviação revelaram que os lodos de ETAs desidratados com teor de sólidos de, em média, 80% podem ser dispostos como cobertura de células em aterro sanitário, uma vez que os metais presentes não foram liberados quando em contato com a água.

Oliveira e Costa (2013) verificaram a possibilidade de disposição final, em aterro sanitário, dos sólidos resultantes dos processos de secagem do lodo de duas ETAs: ETA Bom Jardim e Sucupira, do município de Uberlândia – MG. Foram coletadas amostras do solo utilizado na cobertura das células do aterro e foram realizados ensaios de biodegradação seguindo o método Respirométrico de Bartha. Os resultados indicaram que no ensaio de lixiviação todos os parâmetros encontraram-se dentro dos limites estabelecidos pela norma técnica. Os tratamentos

no ensaio de biodegradação obtiveram maior quantidade de carbono biodegradado e, com isso, constatou-se que é viável a disposição do lodo estudado no aterro sanitário.

Gonçalves et al. (2016) estudou o incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário com o objetivo de avaliar características físico-químicas de misturas de lodo de ETA, após desidratação em leito de drenagem, a solos argilosos e arenosos para aplicação nestas barreiras. Foram realizados os ensaios de compactação e permeabilidade e os resultados indicaram que o incremento de lodo de ETA aos solos estudados, após compactação, mostrou-se viável, uma vez que os coeficientes de permeabilidade apresentaram valores menores para os traços com o solo argiloso e próximo para o traço com o solo arenoso quando comparados aos solos compactados sem adição do lodo. Isso evidencia o potencial das misturas na retenção de percolados dos aterros e ratifica a indicação da aplicação do lodo ao solo para a confecção das barreiras impermeabilizantes.

Segundo Wagner e Pedroso (2014) a maior dificuldade da disposição do lodo em aterro é que nem sempre há disponibilidade de aterro sanitário que esteja preparado para a codisposição do lodo de ETA, com custos economicamente viáveis para sua operacionalização e a construção de um aterro exclusivo para atendimento a ETA possui um alto custo de implantação e de operação.

## **5.2 Aplicação de lodo de ETA em cerâmica vermelha**

Uma das formas do reaproveitamento do lodo é na produção da cerâmica vermelha. De acordo com Paixão (2005), alguns trabalhos reportados na literatura têm mostrado a possível reciclagem de resíduos de ETA na fabricação de produtos cerâmicos.

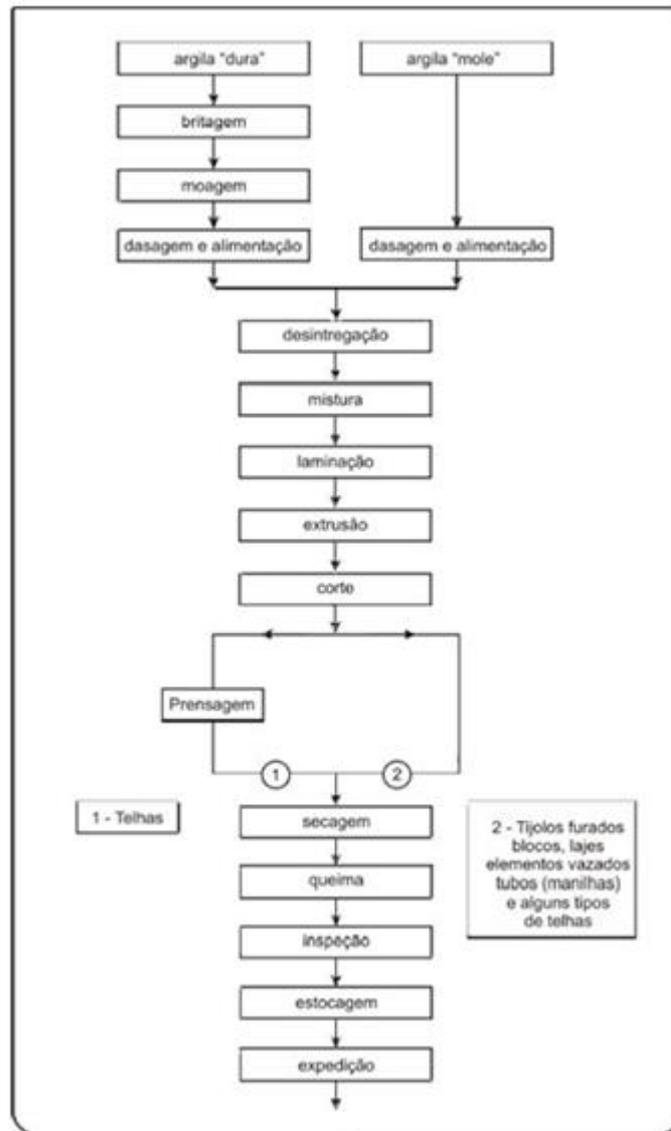
Atualmente estes resíduos vêm sendo aproveitados em misturas para fabricação de blocos cerâmicos que poderão ser utilizados na construção civil. As misturas de resíduos na matriz cerâmica são de diversas proporções e, após vários ensaios, consegue-se estabelecer misturas dentro de padrões aceitáveis. (PAIXÃO, 2005, p.26)

A cerâmica vermelha ou estrutural é um produto cerâmico fabricado pelo processo de extrusão e prensagem, utilizando-se geralmente matérias primas compostas de 25 a 70% de argilas e teor variável de 3,5 a 8% de óxido de ferro, elemento que lhe confere a sua coloração comum após a queima (SEBRAE, 1997).

Parte dos processos produtivos das cerâmicas é mecanizado e segundo Tavares e Grimme (2002), ele se dá da seguinte maneira: inicialmente as argilas são retiradas das lavras e levadas para as indústrias aonde serão submetidas a um sazonalamento feito geralmente a céu aberto. Os blocos são destorroados e laminados até a granulometria adequada. Depois as argilas são hidratadas para atingirem plasticidade suficiente para a moldagem, que é feita na maioria dos casos em uma extrusora que dá o formato da seção reta, no caso dos blocos, ou gera os toletes para a prensagem, no caso das telhas. O corte vai definir o tamanho final da peça a ser produzida. Depois de obterem a forma desejada, as peças passam por uma etapa de secagem. Os processos mais efetivos realizam a secagem em fornos específicos, mas a secagem ao ar livre ainda é comum em algumas regiões. Nesta etapa as peças secas são levadas a temperaturas de 900 a 950 °C, quando ocorre o fenômeno da sinterização que dá as características de resistência ao material cerâmico.

As etapas referentes ao processo de produção de cerâmica podem ser visualizadas na FIG. 12:

Figura 12 - Processo de fabricação de Cerâmica Vermelha



Fonte: Associação Brasileira de Cerâmica – ABC (2018).

As argilas compõem a maior parte dos materiais cerâmicos vermelhos pela sua capacidade de reterem água e moldarem-se por meio de pequenos esforços. Esta propriedade plástica se dá pelo fato destas serem formadas basicamente por compostos lamelares de baixa granulometria (TAVARES E GRIMME, 2002).

De acordo com Vitorino et. al. (2009) a constituição dos lodos de ETA é basicamente de partículas argilosas, siltosas, arenosas e de matéria orgânica, que são materiais encontrados nas argilas que se constituem nas principais matérias-primas para a cerâmica vermelha.

A composição química entre as argilas e o lodo de ETA são muito semelhantes como pode ser observado na TAB. 5.

Tabela 5 - Características de um lodo de ETA e de uma argila usada para fabricação de produtos de cerâmica vermelha

Características	Lodo úmido	Lodo seco	Argila
pH	7,19	7,27	8,09
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	1,75	2,52
Porcentagem de mistura	84,1	41,0	1,4
Perda ao fogo (800±50°C - 3h)%	94,6	76,6	7,9
<b>Metais</b>			
Cd (mg/kg)	3	5	<0,1
Cr (mg/kg)	537	1713	16
Cu (mg/kg)	29	212	85
Co(mg/kg)	10	24	5
Fe (mg/kg)	5265	18070	8530
Ni(mg/kg)	167	1131	20
Pb (mg/kg)	3	35	<0,1
Zn(mg/kg)	264	628	98

Fonte: Paixão, 2005

O lodo de ETA, quando incorporado em quantidades significativas, contribui para a redução do consumo de argilas que é um recurso natural não-renovável.

Paixão (2005) estudou os efeitos da incorporação de lodo de ETA em matriz de cerâmica vermelha. Foram confeccionados vários corpos de prova para a realização de diversos ensaios objetivando resultados provenientes da mistura de argila com lodo de ETA em diferentes proporções. Os corpos de prova foram conformados por prensagem e submetidos à queima de 950°C, 1000°C e 1050°C. Os parâmetros adotados por ele para considerar uma composição com potencial de uso em cerâmica vermelha foram: tensão de resistência à flexão (TRF) após secagem, tensão de resistência à flexão após queima e absorção de água (AA) que reflete o grau de sinterização alcançado pelo material e interfere na durabilidade do bloco. O resultado destes ensaios realizados por Paixão (2005) revelou que a adição de lodo de ETA na argila para fabricação de cerâmica altera as propriedades mecânicas do produto. Porém o produto ainda apresentou propriedades dentro dos limites estabelecidos para cerâmica vermelha para uso em construção civil.

Teixeira et al. (2006) estudou a possibilidade da incorporação do lodo da ETA de Presidente Prudente - SP em massa cerâmica para produção de tijolos. Após avaliarem as propriedades mecânicas em corpos-de-prova com diferentes concentrações de lodo e os efeitos do tipo de floculante usado na ETA, concluíram

que a adição do lodo obtido com floculante à base de alumínio em massa cerâmica piorou mais as propriedades cerâmicas quando comparado àqueles à base de ferro. Entretanto, as propriedades ainda permaneceram dentro dos valores limites aceitáveis, o que torna esta alternativa viável na produção de tijolos e telhas.

Oliveira e Holanda (2008) estudaram a influência da adição do lodo da ETA de Campos dos Goytacazes – RJ nas propriedades tecnológicas e microestrutura de cerâmica vermelha sinterizada. Foram preparadas várias misturas contendo argila e lodo de ETA. Peças cerâmicas foram preparadas por prensagem uniaxial e sinterizadas entre 850 e 1050 °C. As propriedades físico-mecânicas de retração linear, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão foram determinadas. A partir dos resultados, conclui-se que a adição de até 15% em massa de resíduo de ETA não causa variações significativas na generalidade das propriedades tecnológicas da massa cerâmica padrão. A microestrutura das peças de cerâmica vermelha também não foi influenciada pela incorporação do resíduo e nem as propriedades físico-mecânicas avaliadas. Sendo assim, conclui-se que o resíduo de ETA pode ser incorporado como matéria prima alternativa na formulação de massa argilosa para a fabricação de cerâmica vermelha.

Já Vitorino et al. (2009) estudou a incorporação de resíduos de ETA, provenientes do processo de tratamento de água da ETA da empresa Águas do Paraíba S/A em Campos dos Goytacazes – RJ, em cerâmica argilosa. Foram utilizados três tipos de resíduos provenientes das etapas de [desaneração](#)<sup>[RDS2]</sup>, decantação e de filtração. Cada resíduo diferente foi utilizado na concentração de 10% em massa. As propriedades físicas e mecânicas das cerâmicas incorporadas que foram avaliadas pelos autores foram: retração linear, absorção de água e compressão diametral. Os resultados mostraram que os três tipos de resíduos apresentaram potencialidade para utilização em cerâmica vermelha. O lodo proveniente do decantador afetou as propriedades físicas e mecânicas, com exceção da plasticidade da cerâmica, o que sugere a incorporação de quantidades que possibilite a cerâmica alcançar os valores padrões por norma. Entretanto, o resíduo arenoso do desarenador possibilitou benefícios diretos como a melhoria da trabalhabilidade da massa bem como redução da retração linear e da absorção de água da cerâmica queimada.

Tartari et al. (2011a) caracterizou o lodo gerado na ETA [Tamanduá](#)<sup>[RDS3]</sup> e as argilas da região Oeste do Paraná, utilizadas na produção de cerâmica vermelha estrutural e de artesanato, visando avaliar o potencial tecnológico da incorporação do

lodo em massas para cerâmica. Os autores ressaltam que as argilas possuem propriedades favoráveis para produção de cerâmica vermelha e o lodo possui características elementares de matéria-prima de baixa plasticidade, composto majoritariamente por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , com perda ao fogo elevada (20,4%), baixo índice de plasticidade (aproximadamente 7,4) e fração de argila correspondentes a 5,3%. No estudo eles verificaram características como umidade, composição química por fluorescência de raios-X, compostos cristalinos por difração de raios-X, limites de consistência de solos (Atterberg), distribuição granulométrica e a estrutura das partículas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e concluíram que o lodo por si só não pode ser usado como componente majoritário em massas cerâmicas, porém pode ser incorporado como aditivo em massas argilosas.

Posteriormente, Tartari et al. (2011b) realizaram um segundo estudo de utilização do lodo à massa com umidade real de saída da centrífuga, em diferentes porcentagens em massa para confecção de corpos de prova por prensagem uniaxial, sinterizados nas temperaturas de 950 e 1050 °C, e analisados pelos ensaios tecnológicos de cerâmica vermelha. Segundo os autores, a produção de tijolos pelo processo de extrusão apresentou viabilidade em receber porcentagens admissíveis de lodo à massa com umidade real de saída da centrífuga na preparação da massa para fabricação de cerâmica vermelha, desde que este resíduo seja usado em pequenas quantidades em massas argilosas até o limite de 8%, nas condições de umidade reais de saída da centrífuga. Adições de lodo superiores a 8% nas composições alteram negativamente as propriedades físico-mecânicas favorecendo o surgimento de trincas e deformações nas peças cerâmicas .

Siqueira Junior (2011) caracterizou e analisou a viabilidade da incorporação do lodo da ETA Botafogo – PE , para fabricação de tijolo vermelho. Por meio de ensaios cerâmicos de retração linear de queima, absorção de água, perda ao fogo, microscopia ótica, microdureza *vickers* e resistência a compressão, destacou a utilização de processos que eliminem o material orgânico contido no lodo. Em seus resultados concluiu que o lodo otimiza as propriedades mecânicas e físicas dos materiais cerâmicos, pois os corpos de prova apresentaram valores de resistência a compressão superiores aos dos blocos cerâmicos, o que demonstra um grande potencial de reaproveitamento na indústria de tijolos cerâmicos. Porém, para que seja possível a fabricação dos tijolos com este resíduo, é necessária a utilização de processos que eliminem o material orgânico contido no lodo, pois a decomposição da

matéria orgânica e saída da água quimicamente ligada ao material causaram fissuras e trincas nos corpos de prova.

Lima (2016) estudou a incorporação do lodo da ETA de Palmas – TO à massa cerâmica para fabricação de telhas vermelhas com o objetivo de caracterizar e avaliar a viabilidade do mesmo. O lodo foi caracterizado através de análises físicas, mineralógica e química em diferentes períodos sazonais e foi analisado os aspectos de absorção de água e carga de ruptura à flexão. Os seus resultados mostraram que o lodo influenciou significativamente na qualidade das telhas. A carga de ruptura das telhas não apresentou diferença significativa ao contrário da absorção de água que aumentou significativamente com a adição de lodo. O estudo também mostrou que o lodo analisado tem ação desplastificante. A incorporação de 10% de lodo à massa cerâmica não foi adequada, sendo necessária a incorporação de uma quantidade baixa deste resíduo à mistura, podendo assim garantir a produção de produtos cerâmicos de boa qualidade técnica.

### **5.3 Aplicação de lodo de ETA em concreto**

O concreto pode ser caracterizado, segundo NBR 12655 (ABNT, 2015), como mistura homogênea de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. A preferência pelo uso do concreto como principal material da construção civil se deve principalmente por este ser um material como excelente resistência à água, fácil execução e operação e, normalmente, está vinculado a um baixo custo (MEHTA e MONTEIRO, 2014). O concreto pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (BASTOS, 2006).

A incorporação do lodo na fabricação do concreto favorece a construção civil e o ambiente devido à diminuição da quantidade de resíduo lançada no ambiente e da extração de matéria-prima, reduzindo impactos ambientais (TAFAREL et al. 2016).

Hoppen et al. (2005) realizou um estudo no qual propôs uma alternativa de co-disposição do lodo de ETA, ainda úmido, em matrizes de concreto, substituindo-se parcialmente seus insumos: os agregados miúdos e o cimento, cuja extração e emprego também causam impacto ambiental. Para os estudos de dosagem, utilizou-se um concreto-referência (sem adição de lodo) e traços de concreto com teores de 3, 5, 7 e 10% de lodo em relação ao peso de areia e em substituição à mesma. Nos

concretos resultantes, foram avaliadas propriedades tanto no estado fresco quanto no endurecido. Nos ensaios de resistência à compressão, as dosagens até 5% apresentaram uma resistência a compressão em 28 dias de vida do concreto ( $f_{c28}$ ) maior que 25 MPa. Para as dosagens com teores de lodo superiores a 5%, o  $f_{c28}$  foi menor, principalmente, para a dosagem de 10%. A análise dos dados permitiu que eles concluíssem que os traços com até 5% de lodo podem ser aplicados em situações que vão desde a fabricação de artefatos e blocos até a construção de pavimentos em concreto de cimento Portland. Em relação às misturas com teores acima de 5%, a sua utilização é restrita a aplicações em que a trabalhabilidade não é um parâmetro primordial, como contrapisos, calçadas e pavimentos residenciais.

Silva (2008) estudou alternativas para a pavimentação local, com a utilização de materiais regionais e não convencionais na mistura asfáltica, em substituição aos elementos tradicionais em Manaus – AM. Um dos materiais testados foi o lodo de ETA, que foi utilizado como *filler* no concreto asfáltico usinado a quente CBUQ, em substituição ao material tradicionalmente usados nesta região, ou seja, o cimento Portland. Foi realizada uma análise comparativa entre as misturas betuminosas, convencional e alternativa, com os dois tipos de *fillers*. Corpos de prova foram moldados e testes referentes a estabilidade Marshall, fluência a 60 °C e compressão diametral uniaxial estática, módulo de resiliência e vida de fadiga, todos a 25 °C, foram realizados. Os resultados dos ensaios mostraram desempenho adequado da mistura confeccionada com o lodo como *filler*, comparado à mistura convencional, confeccionada com cimento Portland.

Costa (2011) analisou a viabilidade de lodo de ETA de [Mirassol](#)<sup>[RDS4]</sup>, coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas. Essa análise foi realizada com base nos ensaios de tração e estes ensaios demonstraram que, para os traços que utilizaram 5%, 10% e 20% de lodo, foram obtidas resistências à compressão axial superiores a 15 MPa, o que foi bastante satisfatório já que são recomendados para calçadas valores de 10 MPa. Nos ensaios de tração, ele constatou que a utilização do lodo muito pouco interferiu nos resultados, sendo recomendada a utilização de porcentagens próximas a 10%, pois o aumento nos teores de lodo reduziu sensivelmente os valores desta resistência. Portanto concluiu-se que a utilização de lodo de ETA de Mirassol em concretos para recomposição de calçadas é viável nas porcentagens até 10%.

Tafarel et al. (2016) avaliaram as propriedades do concreto com adição de diferentes teores de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA). Eles fizeram uma caracterização físico-química do lodo coletado e em seguida, foram moldados corpos de prova de concreto com os respectivos teores de lodo e avaliadas as propriedades no estado endurecido do concreto: resistência à compressão, resistência à tração por compressão axial e absorção de água. Eles concluíram que a incorporação de 10% de lodo indicou redução significativa na resistência à compressão, o que impossibilitaria sua incorporação em teores superiores. Apenas as amostras com 5% de lodo de ETA apresentaram condições satisfatórias de resistência à compressão axial quando comparadas ao concreto referência, com 15,5 MPa e perda de resistência próxima a 11%. Portanto ele pode ser utilizado com finalidade não estrutural, se consideradas apenas as propriedades mecânicas do material.

Almeida et al. (2017) realizaram um estudo a fim de analisar a viabilidade da incorporação do lodo de ETA na produção de blocos vazados de concreto sem finalidade estrutural. Os experimentos foram realizados mediante a utilização de blocos convencionais como referência, para estudos e comparações de peças de concreto com três teores distintos de incorporação de resíduo em substituição à massa de agregado miúdo. Eles chegaram aos seguintes resultados: os blocos fabricados a partir do lodo obtiveram desempenho semelhante em relação à atenuação acústica. Quanto à propriedade mecânica, os blocos com lodo apresentaram resistência a compressão uniaxial, superior aos convencionais. A partir dos resultados que obtiveram, pôde-se concluir que a incorporação do resíduo de lodo nessas peças de concreto é viável, visto que, o desempenho dos blocos com resíduo é equivalente ao convencional.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o crescimento populacional, cresce a demanda por água potável e, conseqüentemente, há mais geração de resíduos no tratamento da mesma. Com isso, a busca por soluções para o tratamento e reaproveitamento destes resíduos se torna indispensável para minimizar os impactos ambientais provocados pelos mesmos.

A escolha da alternativa de reaproveitamento do lodo de ETA deve ser realizada de forma sistemática, pois os lodos produzidos nas ETAs são distintos, uma vez que vários fatores influenciam sua composição, não sendo possível padronizar uma solução. Portanto cabe ao gestor pesquisar e analisar a melhor solução para as condições específicas da sua ETA.

Disposição em aterro, aplicação em cerâmica vermelha e aplicação em concreto foram as alternativas discutidas neste trabalho para o reaproveitamento do lodo de ETA, as quais possuem grande potencial de aplicação.

Analisando os resultados das pesquisas realizadas pelos autores citados neste estudo, dentre as alternativas levantadas, a que possui mais fragilidades é a de reaproveitamento em cerâmica vermelha devido ao fato da incorporação do lodo comprometer algumas de suas propriedades. Em diversos estudos o reaproveitamento do lodo em cerâmica vermelha acarretou vários problemas como: redução na resistência a flexão, dificuldade na conformação das peças e aumento da absorção de água e porosidade.

Os resultados dos estudos da alternativa de reaproveitamento de lodo em concreto é umas das que se mostraram mais satisfatórias, pois a utilização do lodo não comprometeu as características do concreto, o que sugere que essa alternativa é mais eficaz quando comparada às outras.

## REFERÊNCIAS

- ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**. V.18, n.2, p.115-122, 2013.
- ALMEIDA, L. F. S.; ANACLETO, M. G.; COSTA, W. A. C. **Estudo da viabilidade da utilização de lodo de ETA em blocos vazados de concreto por meio da avaliação de propriedades mecânicas e acústica**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba – Paraná, 2017.
- ANDRADE, C. F.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA, F. C. Gestão ambiental de saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. **Anais...** Belo Horizonte: IBEAS, 2014
- ANDREOLI, C. V. (coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001, p. 119-142.
- ANDREOLI, C. V.; et al. Produção, composição e constituição de lodo de estação de tratamento de água (ETA). In: ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 29-48.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABC. Disponível em:< <http://https://abceram.org.br/fluxograma/>>. Acesso em: 14 setembro. 2018
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015
- BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Metais e sólidos: aspectos legais dos resíduos de estações de tratamento de água. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. **Anais...** João Pessoa, 2001.
- BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D. M. Lodos produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): desidratação em leitos de secagem e codisposição em aterros sanitários. In: ANDREOLI, C.V. (coord.) **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Rio de Janeiro: RiMa / ABES / PROSAB, 2001. p. 121 – 142.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Transversal: lodo gerado durante o tratamento de água e esgoto: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Brasília: Ministério das Cidades, 2008. p.31-33

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Ed.) **Resíduos Sólidos Urbanos: aterro sustentável** para municípios de pequeno porte. Florianópolis: Editora Rima Artes e Textos, 2003.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – (SABESP). São Paulo, SP. Disponível em: <<http://sabesp.com.br>>. Acesso em 22 de março de 2012.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA. **Tratamento da água**. 2018. Disponível em: <>. Acesso em: 15 out. 2018.

CORDEIRO, J, S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: REALI, M. A. P. (Coord). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES: 1999. p.1-19

CORDEIRO, J, S. Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. (Coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2001. p.121-140

FEITOSA, C. A. G. **Oportunidades de minimização de resíduos sólidos gerados na Estação de Tratamento de Água – Alto da Boa Vista, situada no município de São Paulo**. Dissertação Mestrado – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). São Paulo, 2004.

FERREIRA FILHO, S. S.; ALEM SOBRINHO, P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. Revista **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.3, n.4, 1998.

FONTANA, A. O. Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem dos filtros – Estudo de caso ETA Cardoso. Dissertação Mestrado, UFSCar, São Carlos, São Paulo, 2004.

GONÇALVES, F.; SOUSA, C.H.; TAHIRA, F.S.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R.S. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. Revista DAE, 2016. P. 5–14

GUERRA, R. C. **Caracterização e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

HEDLUND, K. F. S. (2016). **Adensamento de lodo de estação de tratamento de água: comparação entre sedimentação e flotação**. Dissertação Mestrado, UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

HIDROSUL. **Adensador de lodo tipo tanque**. 2018. Disponível em: <<http://www.hidrosul.com.br/produto/adensador-de-lodo>>. Acesso em: 17 out. 2018.

HOPPEN, C. **Reciclagem de lodo de ETA Centrifugado na Construção Civil, Método alternativo para Preservação Ambiental**. Dissertação Mestrado, UFPR, Curitiba, 2004.

HUBER TECHNOLOGY. **Huber parafuso espessante S-DRUM**. 2018. Disponível em: < <http://www.huber-technology.com.br/br/produtos/tratamento-de-lodo/espessamento/huber-parafuso-espessante-s-drum.html> >. Acesso em: 17 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **Huber mesa gravimétrica DrainBelt**. 2018. Disponível em: <<http://www.huber-technology.com.br/br/produtos/tratamento-de-lodo/espessamento/huber-mesa-gravimetrica-drainbelt.html>>. Acesso em: 17 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, 2010

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: Uma análise crítica**. Dissertação Mestrado, USP, São Paulo, São Paulo, 2012. p. 8-9.

LIMA, D.P. **Caracterização de lodo da estação de tratamento de água utilizado como agregado na construção civil em elementos de telhas vermelhas**. Dissertação Mestrado, UFT, Palmas, Tocantins, 2016.

LOCASTRO, J. K.; ANGELIS, B. L. D. Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 20, n. 1, p. 200-210, 2016.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 4. Ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

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)>. Acesso em: 20 set. 2018

NASCIMENTO, V. C. et al. **Quantificação e proposta de destinação final do lodo de decantador da Estação de Tratamento de Água (ETA) em Itabirito, MG**. Minas Gerais: Revista Petra, 2017.p.40

NEI. **Adensador dinâmico de lodo concentra sólidos em suspensão**. 2011. Disponível em: <<https://www.nei.com.br/produto/2011-03-adensador-dinamico-de-lodo-jdf-centrifugas-ltda?id=e2af861c-5ba7-11e4-8697-0e94104de12e>>. Acesso em: 18 out. 2018.

OLIVEIRA, N. F.; COSTA, E. S. Classificação e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário. IV Congresso Brasileiro de

Gestão Ambiental - Ibeas. **Anais...** Salvador, Bahia, 2013. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/IX-009.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2018

OLIVEIRA, E. M. S.; HOLANDA, J. N. F. Influência da adição de resíduo (lodo) de estação de tratamento de águas nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 330, p.167-173, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n330/a0654330.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018

PAIXÃO, L. C. C. **Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha**. Dissertação Mestrado - UFOP – CETEC - UEMG, Ouro Preto, Minas Gerais, 2005. p.1-125.

PEREIRA, V. E. **Disposição de lodo adensado de ETA em ETE com tratamento primário quimicamente assistido**. 2011. 170 p. Dissertação de Mestrado (em Saneamento e Ambiente)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Guia de produtos e serviços**. 2018. Disponível em: < <https://www.tratamentodeagua.com.br/produto/adensador-de-lodo/>>. Acesso em: 17 out. 2018.

PRIM, E.C.C. **Utilização de lodo de estações de tratamento de água e esgoto como material de cobertura de aterro sanitário**. Dissertação Doutorado, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2011.p.42-43

REALI, M. A. P. Principais características qualitativas e quantitativas do lodo de ETAs. In: REALI, M. A. P (Coord). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES,1999. p. 21-39

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.p.1-74

SABOGAL – PAZ, L. P.; DI BERNARDO, L. **Modelo conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte**. Dissertação Doutorado, UFSCar, São Carlos,2007.

SALUM, F. C. **Estudo de alternativas para o tratamento de efluentes gerados em estações de tratamento de água do tipo convencional em Santa Catarina**. Trabalho de conclusão de curso. UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

SANTI, A. M. M.; SEVÁ FILHO, A. O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento: casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. II Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – Anppas. **Anais...** Campinas, 2004

SILVA, J. F. A. **Comportamento de concreto asfáltico tendo lodo da ETA da cidade de Manaus como fíler**. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, 2008

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de água por leito de drenagem / secagem com manta geotêxtil**. Dissertação Mestrado, UEL, Londrina, Paraná, 2012

SIQUEIRA JUNIOR, B. **Caracterização de resíduos de Estação de Tratamento de Água e estudo de reaproveitamento na indústria de cerâmica vermelha**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2011.

SMIDERLE, Juliana Jerônimo. **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DA ETA LARANJAL/RJ**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2016.

STEIN, R.T. **Características de pastas de cimento Portland com adição de cinza de lodo de ETA**. Dissertação Mestrado, UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. **Tratamento e disposição de lodo (ETA)**. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/modulos/saneamento/lodo/lodo.htm#Alternativas%20de%20disposi%C3%A7%C3%A3o%20final%20do%20lodo%C2%A0>>. Acesso em: 09 jun. 2018

TAFAREL, N. F. et al. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 974- 986, dez. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0090>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

TARTARI, R.; DÍAZ-MORA, N.; MÓDENES, A. N.; PIANARO, S. A. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. **Cerâmica**, v. 57, p. 288-293, 2011a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v57n343/06.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018

TARTARI, R.; MÓDENES, A. N.; PIANARO, S. A.; DÍAZ-MORA, N. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte II: Incorporação do lodo em mistura de argilas para produção de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 57, p.387-394, 2011b. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132011000400003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132011000400003)> Acesso em: 28 ago. 2018

TEIXEIRA, S. R. et al. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, n. 323, p. 215-220, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n323/32092.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de estação de tratamento de água em cerâmica argilosa. **Cerâmica**, v. 55, p. 385–392, 2009.

WAGNER, L. F.; PEDROSO, K. Disposição de resíduos das Estações de Tratamento de Água. Revista **TechnoEng**, 10ª Ed., v. 1, 2014