



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**FELIPE FERNANDES SANTANA**

**POSSÍVEIS USOS DE LODO DE ETA (ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA)  
EM OBRAS DE ENGENHARIA: Análises Técnicas, Desafios e Perspectivas**

Palmas – TO

2019

**FELIPE FERNANDES SANTANA**

**POSSÍVEIS USOS DE LODO DE ETA (ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA)  
EM OBRAS DE ENGENHARIA: Análises Técnicas, Desafios e Perspectivas**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Kenia Parente Lopes Mendonça

Palmas – TO

2019

Felipe Fernandes Santana

POSSÍVEIS USOS DE LODO DE ETA (ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA) EM  
OBRAS DE ENGENHARIA: Análises Técnicas, Desafios e Perspectivas

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Kenia Parente Lopes Mendonça

Aprovado em: 19/11/2019

BANCA EXAMINADORA

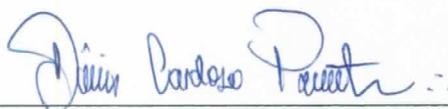


---

Prof. Esp. Kênia Parente Lopes Mendonça

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

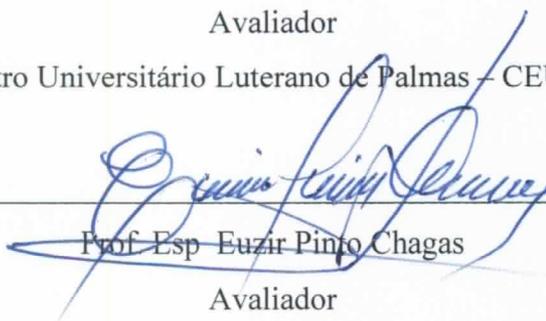


---

Prof. Msc. Dênis Cardoso Parente

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

À minha Mãe, por ter a capacidade de investir  
e acreditar em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por ter guiado meu caminho até este momento e cuidar de mim durante todo esse ciclo.

Agradeço a família, em especial aos meus pais João Carlos e Raimunda Vânia e a minha irmã Gabriela e avós que não mediram esforços para me apoiar durante todos esses anos, proporcionando as condições necessárias para obter mais essa conquista.

A professora Kenia, pelo empenho, paciência, orientação e dedicação durante todo o trabalho, emprestando o seu conhecimento e sua experiência para a conclusão desse trabalho.

Aos amigos e colegas, que durante toda a graduação permaneceram presentes, colaborando e compartilhando todos os momentos difíceis que o curso proporcionou.

## RESUMO

SANTANA, Felipe Fernandes. **Possíveis usos de lodo de ETA (estação de tratamento de água) em obras de engenharia: análises técnicas, desafios e perspectivas.** 2019. 53p. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas - TO.

Definido como todo resíduo gerado pela estação de tratamento de água, o lodo de ETA trata-se de um material de características expansíveis, sem função “estrutural”. Uma das principais preocupações é a disposição do mesmo em mananciais, causando dentre outros problemas ambientais o assoreamento em volta do corpo hídrico. O presente trabalho, verificou a viabilidade técnica do uso de lodo da estação de tratamento de água em obras de engenharia a partir de uma revisão de literatura. O estudo consistiu na criação de uma base de dados de 22 artigos, onde através deles foi possível levantar os principais químicos pertinentes, além de relacionar a evolução das pesquisas com uso desse resíduo em obras civis e viárias. Analisando os resultados obtidos, chegou-se a um percentual de médio 34,58% de alumínio com desvio padrão de 20,58%, além da presença de ferro com média de 46,15% com desvio padrão de 27,47%, ademais, verificou-se a forte tendência da utilização desse resíduos em materiais cerâmicos, fora a baixa aceitação do mesmo na matriz de concreto e a evolução de seu uso como material constituinte da pavimentação. Ao término dos estudos, foi possível concluir que esse resíduo sólido não integra de forma positiva a matriz concreto, gerando assim manifestações patológicas relacionadas a formações de fissuras, já quando o mesmo é trabalhado integrando-se as massas cerâmicas a aceitação é positiva, pois o ferro e alumínio são encontrados em boas quantidades nas argilas, havendo ainda a possibilidade de associar solo-lodo-geopolímero de forma que aumente a resistência mecânica, contudo tratando-se de seu uso nas camadas de pavimentação percebe-se, que a possibilidade do alumínio ser encontrado em forma de sulfato no lodo apresentando-se assim, como material estabilizante nas camadas de pavimentação, uma vez que já é usado incipiente na construção de rodovias.

**PALAVRAS CHAVE:** Lodo. Implicações Químicas. Evolução das Pesquisas

## ABSTRACT

SANTANA, Felipe Fernandes. **Possible uses of ETA sludge (water treatment plant) in engineering works: technical analysis, challenges and perspectives.** 2019. 53p. Conclusion work of the Civil Engineering Course of the Lutheran University Center of Palmas. Palmas - TO.

Defined as all residue generated by the water treatment plant, ETA sludge is a material of expandable characteristics, without "structural" function. One of the main concerns is the disposition of it in springs, causing among other environmental problems the plating around the water body. The present work verified the technical feasibility of the use of sludge of the water treatment plant in engineering works from a literature review. The study consisted of the creation of a database of 22 articles, where through them it was possible to raise the main relevant chemicals, besides relating the evolution of research using this residue in civil and road works. Analyzing the results obtained, an average 34.58% percentage of aluminum with a standard deviation of 20.58% was reached, in addition to the presence of iron with an average of 46.15% with a standard deviation of 27.47%, in addition, the strong trend of using this waste was verified in ceramic materials, off the low acceptance of it in the concrete matrix and the evolution of its use as constituent paving material. At the end of the studies, it was possible to conclude that this solid residue does not positively integrate the concrete matrix, thus generating pathological manifestations related to crack formations, since it is worked integrating the ceramic masses to acceptance is positive, because iron and aluminum are found in good quantities in clays, and there is also the possibility of associating soil-lodo-geopolymer in such a way that increases mechanical resistance, however, in the case of its use in the paving layers it is perceived that the possibility of aluminum being found in the form of sulfate in the sludge thus presenting itself as stabilizing material in the paving layers, since it is already used incipient in the construction of highways.

**KEY-WORDS:** Sludge. Chemical Implications. Evolution of Research

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Ciclo da água .....	14
<b>Figura 2</b> - Gráfico em barras da oferta de água .....	15
<b>Figura 3</b> - Etapas do tratamento de água .....	15
<b>Figura 4</b> - Organograma do processo de filtração lenta .....	16
<b>Figura 5</b> - Corte esquemático do processo de filtração lenta .....	17
<b>Figura 6</b> - Organograma do processo de filtração múltipla por etapas.....	18
<b>Figura 7</b> - Organograma dos processos de filtração com uso de coagulantes .....	19
<b>Figura 8</b> - Fluxograma do processo de geração de lodo de ETA .....	21
<b>Figura 9</b> - Camadas de pavimentação.....	22
<b>Figura 10</b> - Métodos de estabilização de solos.....	24
<b>Figura 11</b> - Curvas de compactação de solos .....	25
<b>Figura 12</b> - Curvas granulométricas de diferentes graduações.....	25
<b>Figura 13</b> - Exemplo de blocos de concreto. ....	27
<b>Figura 14</b> - Parâmetros para fabricação de blocos de concreto. ....	28
<b>Figura 15</b> - Modelos de blocos cerâmicos.....	29
<b>Figura 16</b> - Organograma do processo de fabricação de blocos cerâmicos .....	30
<b>Figura 17</b> - Fluxograma inicial da metodologia .....	31
<b>Figura 18</b> - Fluxograma da obtenção dos dados químicos .....	33
<b>Figura 19</b> - Principais elementos químicos encontrados em ETAS brasileiras.....	34
<b>Figura 20</b> - Tratamento estatístico descritivo da concentração de alumínio. ....	35
<b>Figura 21</b> - Tratamento estatístico descritivo da concentração de ferro.....	35
<b>Figura 22</b> - Curva da evolução das pesquisas e regressão polinomial de 3° grau.....	36

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA	Agência Nacional de Águas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ETA'S	Estações de Tratamento de Água
ETE'S	Estações de Tratamento de Esgoto
FMiE	Filtração Múltipla por etapas
MPa	Megapascal
MSF	Filtração em Múltiplas Etapas
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização Nações das Unidas
PH	Potencial Hidrogeniônico
SCIELO	Biblioteca eletrônica científica em linha
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
WTP	Estação de tratamento de Água

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
<b>1.1.1 OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>12</b>
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1 ÁGUA TRATADA.....	14
<b>2.1.1 Tratamento de Águas Sem Uso de Coagulantes.....</b>	<b>16</b>
2.1.1.1 Tratamento de Águas – Método Filtração Lenta.....	16
2.1.1.2 Tratamento de Águas – Método Filtração Múltipla Por Etapas.....	17
<b>2.1.2. Tratamento de Águas Com Uso de Coagulantes.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3 Resíduo Gerado Pela ETA.....</b>	<b>20</b>
2.2 OBRAS VIÁRIAS .....	22
<b>2.2.1 Pavimentação.....</b>	<b>22</b>
2.2.1.1 Definição de Pavimento.....	22
2.2.1.2 Camadas de Pavimentação .....	22
2.2.1.3 Estabilização de Solos Para Pavimentação.....	24
2.3 OBRAS CIVIS.....	27
<b>2.3.1 Materiais de Construção Civil .....</b>	<b>27</b>
2.3.1.1 Blocos de Concreto.....	27
2.3.1.2 Blocos Cerâmicos.....	28
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1 NATUREZA DA PESQUISA .....	31
3.2 ESCOLHA DA LITERATURA BASE .....	32
3.3 LEVANTAMENTO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS LODOS DE ETA’S.....	32
3.4 EVOLUÇÃO DAS PESQUISAS DO USO DE LODO DE ETA EM OBRAS DE ENGENHARIA. .....	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
4.1 AVALIAÇÃO DE FORMA BIBLIOGRÁFICA DAS IMPLICAÇÕES QUÍMICAS DO USO DE LODO ETA EM OBRAS CIVIS E VIÁRIAS.....	34
4.2 IDENTIFICAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS PESQUISAS DO USO DE LODO DE ETA EM OBRAS DE ENGENHARIA .....	36
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1.INTRODUÇÃO

No Brasil, o tratamento das águas provenientes de bacias subterrâneas e mananciais superficiais é de extrema importância, fazendo assim com que a população tenha acesso ao uso nobre da água, evitando problemas relacionados a saúde, entretanto todo esse processo físico-químico acaba por gerar o lodo da estação de tratamento de água.

De acordo com a Lei Federal nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, o descarte do lodo deve ser feito em aterros sanitários para que permaneça inerte. Segundo Kelm (2014), muitos aterros sanitários estão mais do que lotados com outros resíduos, e entre eles o lodo.

Por outro lado, sabe-se que o desenvolvimento econômico está diretamente ligado ao setor da construção civil e obras de infraestrutura, ou seja, construções em sua totalidade, bem como a: de rodovias, processos urbanísticos, edificações e até mesmo portos e aeroportos. O grande fator é que todas essas obras necessitam de matéria-prima.

Dentre as principais matérias primas utilizadas em processos de pavimentação viária e urbanas, destaca-se o solo em suas diferentes granulometrias. Um projeto de pavimentação é composto de várias camadas de solos compactados, e muitas vezes torna-se necessário adquirir esse material de outros lugares, por não ter no local da obra o material com as características necessárias. Além disso, destaca-se o uso de fontes ilegais que agredem o meio ambiente.

Uma das possíveis alternativas para substituir em partes o solo destas camadas, seria a utilização do lodo da estação de tratamento de água. Contudo, apesar de hoje existirem alguns estudos que comprovam o seu uso na agricultura, ele não é muito utilizado na construção de estradas e nem em materiais de construção civil. Esse resíduo poderia ter outra destinação além de ser despejado no aterro sanitário, uma vez que seu uso em pavimentos já é estudado e incipientemente utilizado.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a viabilidade técnica do uso de lodo da ETA em obras civis e viárias.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar bibliograficamente implicações químicas do lodo de ETA em obras civis e viárias.
- Identificar a evolução das pesquisas do uso de lodo de ETA em obras de engenharia.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A medida que as cidades começam a crescer, mais pessoas necessitam de água tratada, logo a produção de lodo em ETA'S aumenta consideravelmente. Segundo Coelho *et al* (2015), até meados de 2005, o resíduo era disposto nos mananciais, causando assim assoreamento em volta do corpo hídrico.

Com a Lei Federal nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, que regulamenta os lodos proveniente de ETA e ETE, e com a resolução CONAMA N° 357 (2005), o lodo de ETA passou a ter uma disposição correta em aterro sanitário, ainda que o mesmo esteja locado certo, ele permanece sem função “estrutural”.

Tendo em vista o conceito de desenvolvimento sustentável, muitas pesquisas foram feitas para substituição total ou parcial do lodo bem com: na construção civil em concretos ou blocos cimentícios/cerâmicos, produção de argamassas, fabricação de cimentos e outros (KELM, 2014).

Na pavimentação, há entre muitos uma particularidade, pois o solo muitas vezes em seu estado natural, não possui a capacidade de suportar altos carregamentos. Entretanto, recorre-se ao mecanismo de estabilização desse material, podendo ser de forma química ou granulométrica. Segundo Lucena (2017), O lodo por sua vez, apresenta-se com potencial significativo para estabilização de solos.

A utilização de resíduo sólidos pode se confirmar como satisfatória, através da ABNT NBR 15115 (ABNT 2004), que regulamenta a utilização de resíduos sólidos na pavimentação e construção civil.

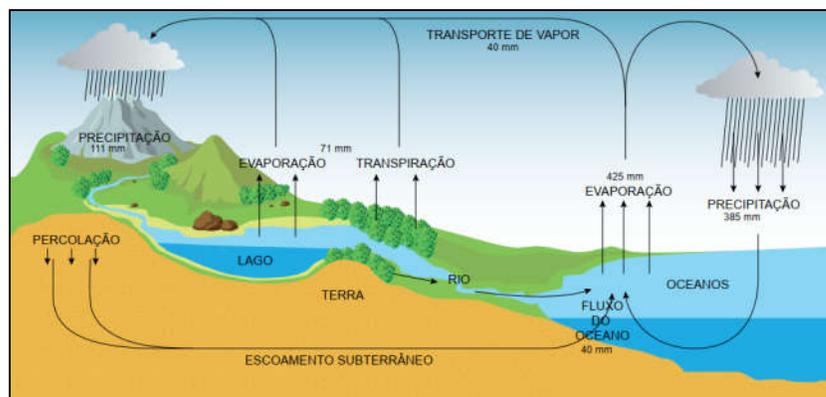
## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ÁGUA TRATADA

O tratamento de águas faz parte de um dos quatro eixos do saneamento básico, entre eles estão: o esgotamento sanitário, a drenagem urbana e o tratamento de resíduos sólidos. O fato é que, toda e qualquer água proveniente de reservatórios superficiais ou subterrâneos carecem de tratamento para que tenham um uso nobre.

De acordo com Junior et al. (2018), a água apresenta-se como um elemento natural, que pode ser renovado, e faz sua permanência através do ciclo hidrológico, onde consiste no movimento da água em torno do planeta visto através da Figura 1.

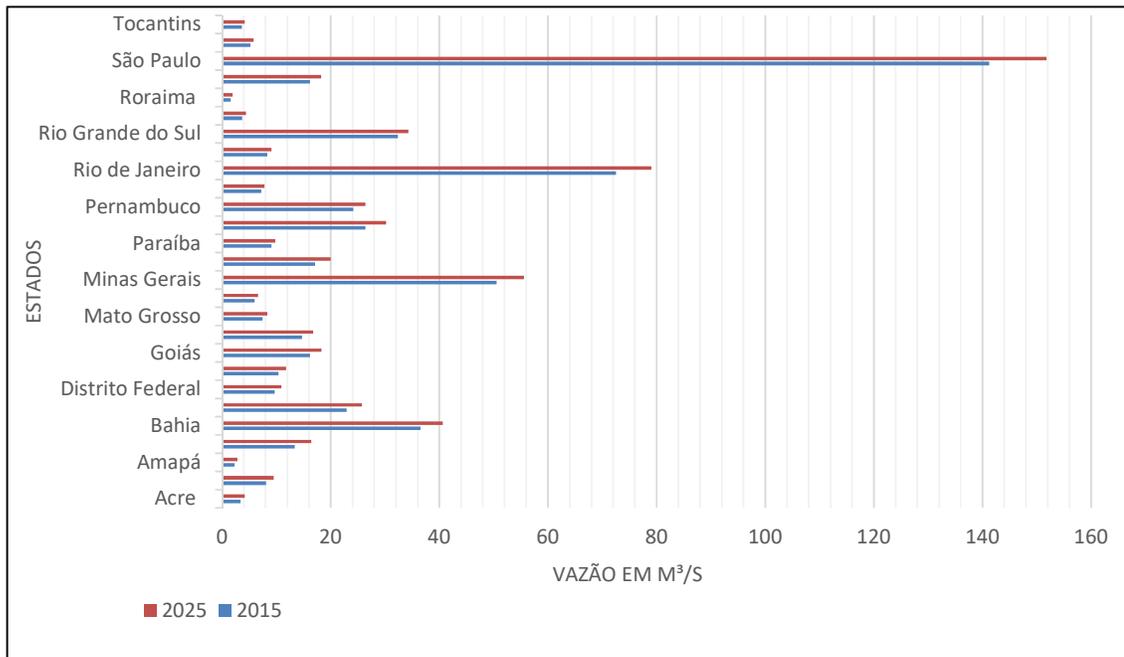
**Figura 1 - Ciclo da água**



Fonte: Costa (2015)

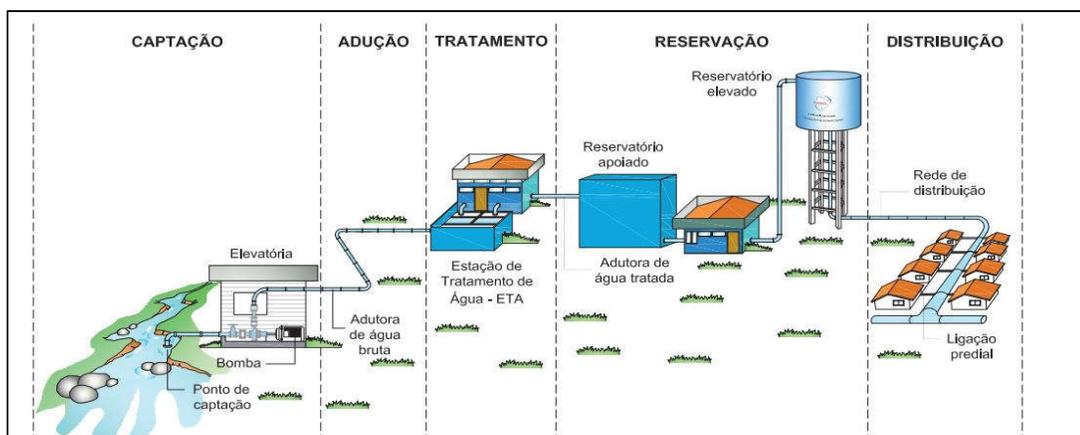
Além disso, é válido ressaltar que segundo ONU (2010), o direito à água tratada é igual a todos os outros direitos humanos, o que leva a inferir que o mesmo é necessário e executável, tendo assim, maior responsabilidade em concentrar todos os esforços possíveis na sua implementação.

Sob esta ótica, sabe-se que o consumo de água está diretamente ligado ao aumento da população, a Figura 2 demonstra o elevado consumo das vazões de água por estados brasileiros do ano de 2015 e uma projeção do ano de 2025.

**Figura 2 - Gráfico em barras da oferta de água**

Fonte: Adaptado de ANA (2015).

Segundo Santo e Vieira (2019), a água tratada não é abundante, principalmente em pequenos municípios e muitas deles não possuem um processo de tratamento completo conforme o descrito na Figura 3. De acordo com Balbinoti *et al* (2018), espera-se que a ETA seja totalmente eficiente na retirada de todas as impurezas presentes na água bruta, principalmente as partículas em suspensão e turbidez da água.

**Figura 3 - Etapas do tratamento de água**

Fonte: Costa (2015)

Diante o exposto, sabe-se a importância de seu tratamento, entretanto as técnicas de uso dependem de uma série de fatores, bem como: econômicos, limites impostos pelos órgãos ambientais locais, questões relacionadas a operação e captação de recursos e entre outros.

Tendo em vista, o que foi descrito anteriormente, segundo Costa (2015), o tratamento de águas proveniente de mananciais superficiais ou subterrâneos podem ser divididos em duas formas, entre elas: com o uso de coagulantes e sem coagulantes, tal uso dependerá da microbiologia existente no manancial estudado.

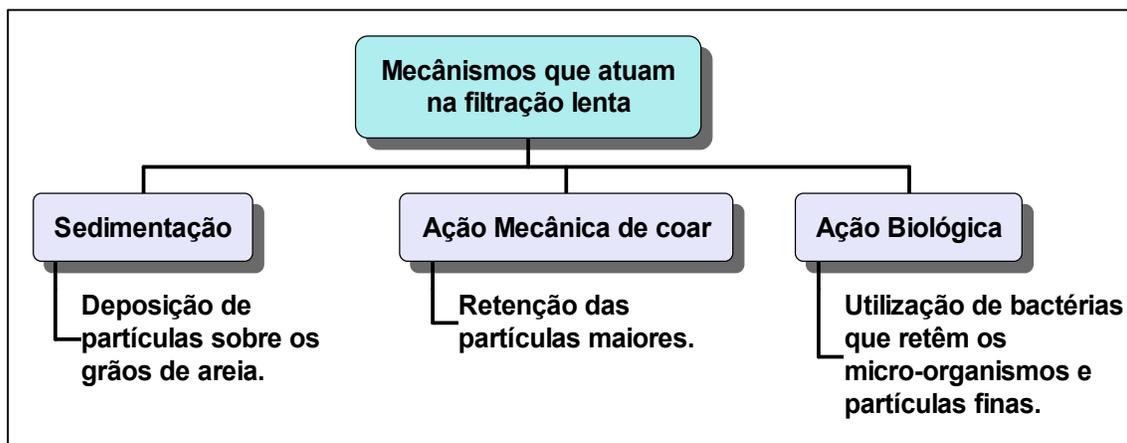
### 2.1.1 Tratamento de Águas Sem Uso de Coagulantes

Segundo Costa (2015), atualmente os dois processos mais utilizados em ETA'S são os sistemas de filtração lenta e o de filtração múltipla por etapas.

#### 2.1.1.1 Tratamento de Águas – Método Filtração Lenta

De acordo com Silveira *et al* (2019), o processo de filtração lenta consiste em uma técnica bastante simples, utilizada no abastecimento público. Trata-se de um meio poroso com elevada capacidade drenante, podendo ser utilizado como material a área fina, geralmente é onde o material em suspensão fica retido, principalmente na superfície da areia, por uns alguns mecanismos vistos na Figura 4.

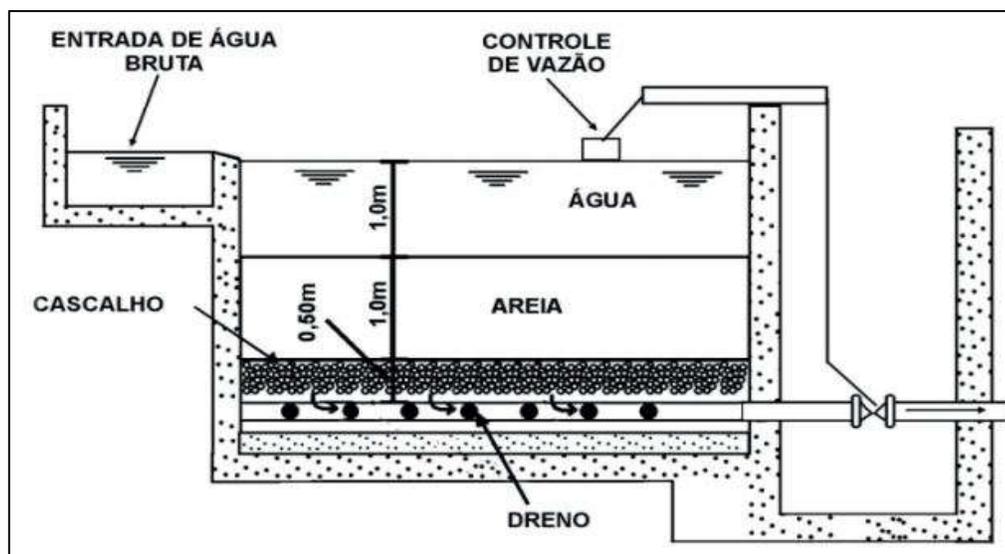
**Figura 4 - Organograma do processo de filtração lenta**



Fonte: Adaptado de Costa (2015).

De acordo com Costa (2015), no que é referente aos aspectos construtivos o órgão costuma usar taxas de filtração que variem de 3 à 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, com drenos que possam coletar a água filtrada descritos na Figura 05, com camadas de suporte de altura 0,3 m e pedrisco com granulometria 2" a 3/4".

**Figura 5 - Corte esquemático do processo de filtração lenta**



Fonte: Costa (2015)

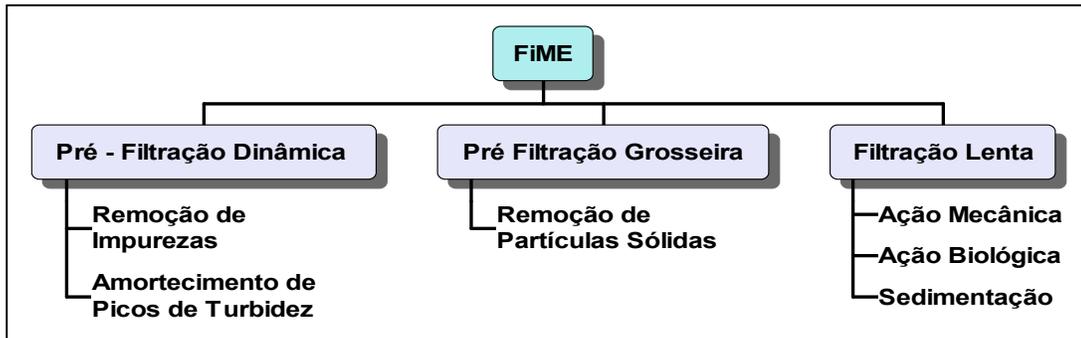
#### 2.1.1.2 Tratamento de Águas – Método Filtração Múltipla Por Etapas

Segundo Von Sperling (2019), a mesma foi criada de forma que esse processo tivesse a habilidade de aumentar as taxas de filtração, sem que fosse ao mesmo tempo algo custoso e de difícil manutenção, o que levou alguns pesquisadores trabalharem até mesmo com mantas sintéticas.

De acordo com Costa (2015), o processo de FMiE (filtração múltipla por etapas), aplica-se para zonas rurais, municípios de pequenos portes, por ser um processo simplificado, produz uma água com turbidez baixa, porém não apresenta nenhum patógeno em sua microestrutura que seja nociva para saúde humana.

A mesma pode ser entendida como uma extensão da filtração lenta, já que ela incorpora ao seu sistema de operações várias etapas, bem como: a pré-filtração dinâmica, pré-filtração grosseira e filtração lenta, cada uma delas responsável por uma etapa conforme a Figura 6.

**Figura 6 - Organograma do processo de filtração múltipla por etapas**



Fonte: Adaptado de Veras e Bernardo (2008)

De acordo com Costa (2015 p.114),

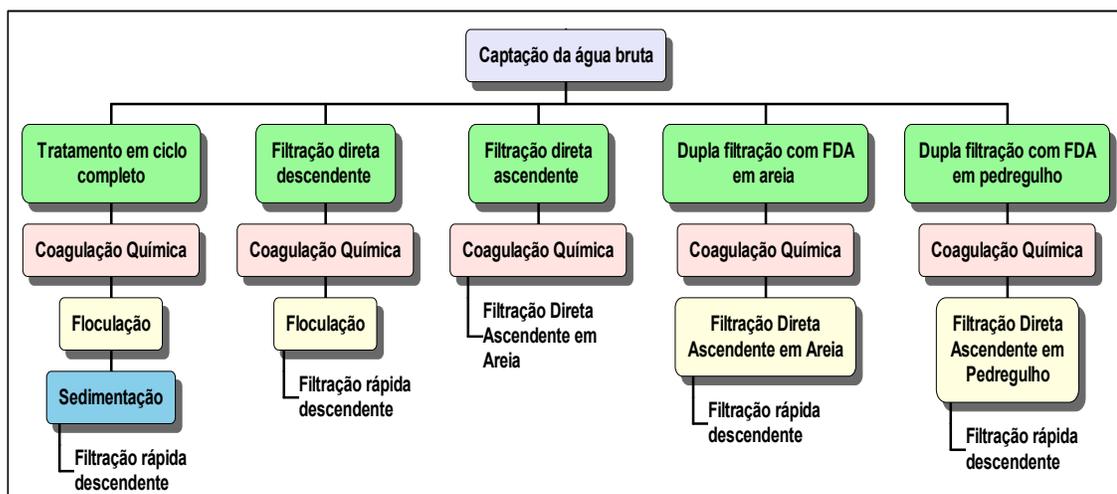
No tratamento sem coagulação química a filtração lenta e a cloração são os principais processos capazes de assegurar a produção de água com qualidade adequada ao consumo humano. Porém, a eficiência da filtração lenta pode ser comprometida se a turbidez da água bruta for superior a 10 uT. Neste caso, a pré-filtração possibilita a redução das impurezas da água antes da filtração lenta.

### 2.1.2. Tratamento de Águas Com Uso de Coagulantes

No que é referente ao tratamento de água com uso de coagulantes químicos, pode-se inferir que para cada tipo de tratamento existe a presença de químicos, mudando apenas a disposição ou entrada/saída de algum processo, pois segundo Di Bernardo (2012), inicia-se pela captação de água bruta, em seguida tem-se parâmetros operacionais que podem mudar de acordo com custos relacionados a operação e manutenção.

Tendo em vista o exposto, sabe-se que existem uma série de alternativas para o tratamento de água com o uso de coagulantes químicos, a Figura 7 apresenta uma série de processos que podem ser aplicados dependendo das características operacionais da ETA.

**Figura 7 - Organograma dos processos de filtração com uso de coagulantes**



Fonte: Adaptado de Di Bernardo (2017)

Para Lima (2016), um dos métodos mais utilizados hoje pelas concessionárias e órgãos ambientais é o processo de tratamento em ciclo completo ou também chamado de convencional, devido ao conjunto de práticas faz com que um maior número de impurezas e patógenos sejam retirados da água, para isso faz-se necessário as seguintes etapas:

#### ➤ Pré- tratamento

Essa etapa tem a função de separar todos os materiais com alta granulometria como: galhos, folhas, algas dentro outros. Segundo Costa (2011), essa etapa também pode ser feita com utilização de alguns químicos, realizando até mesmo uma pré-desinfecção corrigindo assim o PH da água.

#### ➤ Coagulação

Nessa fase ocorre a coagulação da água bruta, além disso de acordo com Carrasquero et al. (2019), utiliza-se diversos químicos, bem como: ferro e o alumínio, principalmente o sulfato de alumínio, procede removendo a turbidez da água e conseqüentemente os microrganismos e patógenos.

Para Lima (2016), a coagulação química tem ação imediata, pois, a reação desse processo ocorre de uma forma extremamente rápida. Sendo assim, essa etapa consiste em uma série de processos físico-químicos que agem no PH da água.

➤ **Floculação**

Segundo Mello et al (2012), a floculação é um processo seguido da coagulação, pois os coagulantes químicos fazem com que as partículas sólidas aumentem seu volume e se agrupem rapidamente.

Além disso, é válido ressaltar que segundo Mendes (2017), a floculação pode ser dividida em duas partes, a primeira também chamada de fase transição ocorre quando os flocos aumentam de tamanho, e a segunda fase onde o floco não aumenta o seu tamanho e “estaciona” em um diâmetro fixo.

➤ **Sedimentação ou decantação**

Consiste em um processo físico, pois são utilizados dois líquidos imiscíveis o qual são separados por diferença de gravidade, além disso os decantadores tem função de diminuir o tamanho das partículas geradas pela floculação para que a mesma possa seguir para a filtração.

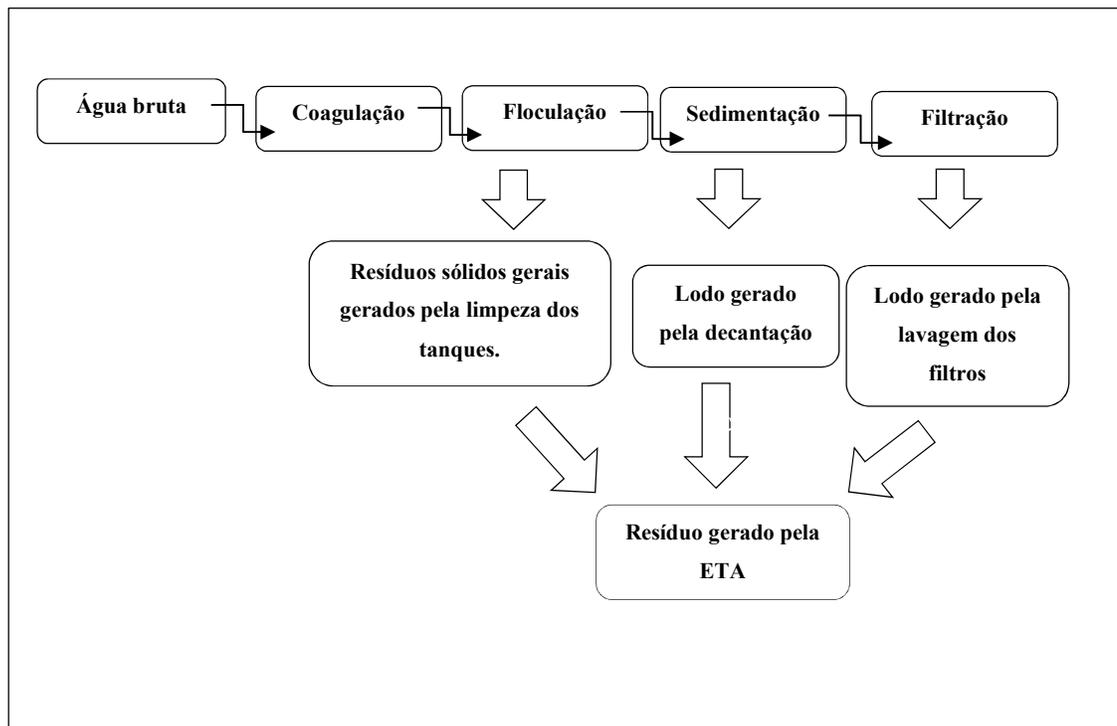
Segundo Costa (2015), as partículas que não são removidas na sedimentação, sejam por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima à da água, deverão ser removidas na filtração.

➤ **Filtração**

Para Costa (2015), a presente fase é responsável por remover algumas partículas sólidas pequenas e alguns microrganismos presentes na água não retiradas em decantadores ou nos flotadores, a água clarificada nos decantadores é encaminhada para a filtração até que se encaixe dentro dos parâmetros normativos, em seguida é realizado a limpeza dos filtros por retrolavagem ou jatos de água, onde o produto resultante é denominado de lodo de ETA.

### **2.1.3 Resíduo Gerado Pela ETA**

De acordo com Coelho et al. (2015), até meado de 2005 o lodo de ETA era disposto de forma inadequada em cursos d'água causando assim assoreamento e erosões em leito de rios. Segundo Lima (2016), o lodo de ETA é um material composto de impurezas orgânicas presentes na água bruta além dos produtos químicos da fase de tratamento. A sua obtenção pode ser descrita por meio da Figura 08.

**Figura 8** - Fluxograma do processo de geração de lodo de ETA

Fonte: Adaptado Von Sperling (2019).

Para Silva e Isaac (2002), o lodo pode ser considerado um fluido não newtoniano, ou seja, a sua tensão cisalhante é inversamente proporcional à taxa de deformação, sendo assim, o mesmo apresenta uma viscosidade não definida.

Já para Rodrigues e Holanda (2013), o lodo é considerado como um material orgânico, acrescido de vários produtos químicos e minerais, resultantes do processo de transformação da água bruta em tratada, podendo ser até mesmo entendido pela ótica ambiental, como um resíduo de Classe IIA- Não Inerte.

## 2.2 OBRAS VIÁRIAS

### 2.2.1 Pavimentação

#### 2.2.1.1 Definição de Pavimento

Para Bernucci *et al* (2010, p.9 ), pavimento pode ser definido como:

Estrutura de múltiplas camadas e espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto economia e segurança.

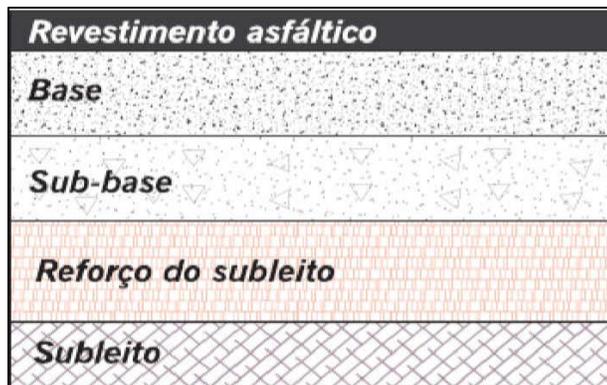
A NBR 7207 (ABNT 1982, p.3) - Terminologia e classificação de pavimentação, define como:

[...]Estrutura construída após terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a a) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; b) melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; c) resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

#### 2.2.1.2 Camadas de Pavimentação

As camadas de pavimentação têm a função de transmissão de esforços, camada a camada de forma que, a solicitação oriunda do tráfego transmita essa carga até a camada final chamada de subleito ou fundação do pavimento, essas informações são evidenciadas na Figura 9.

**Figura 9** - Camadas de pavimentação.



Fonte: Bernucci *et al* (2010).

De acordo com NBR 7207 (ABNT 1982), a mesma define 4 camadas constituintes da pavimentação entre elas subleito, sub-base, base, revestimento, fora a camada de reforço de subleito. Essas camadas recebem as seguintes definições:

➤ Subleito

Camada constituinte da fundação do pavimento responsável por dissipar todas as tensões oriundas de tráfego. Segundo Introdução de projetos do DNIT (2006), a o CBR (Índice de Suporte Califórnia) é aproximadamente de 2% com expansão máxima de 2%.

➤ Reforço de subleito

Esta camada se faz somente necessária quando a solicitação das tensões se torna muito intensa, sendo assim a mesma possui o papel de contribuir para dissipação das tensões no subleito. De acordo com Introdução de projetos do DNIT (2006), a o CBR deve ser superior ao do subleito e com expansão máxima de 1%.

➤ Sub-base

Camada localizada entre o subleito e base, prega-se pela utilização de material de boa qualidade, com capacidade resistir às cargas, pregam-se pela utilização de solos de natureza coesiva, ou seja, com ângulo de atrito diferente de zero, além disso é válido ressaltar que, por estar localizada entre principais camadas ela está diretamente ligada ao custo da obra. De acordo com Introdução de projetos do DNIT (2006), o CBR deve ser superior ou igual a 30% com expansão máxima de 1%.

➤ Base

Da ótica estrutural a mesma apresenta-se, como a camada mais importante da pavimentação já que está abaixo do revestimento, seja qual for a natureza do pavimento bem como: rígido, flexível ou até mesmo semi-flexível, pois essa camada tem a função de dissipar toda a solicitação para demais camadas. De acordo com Introdução de projetos do DNIT (2006), o CBR deve ser superior ou igual a 80% com expansão máxima de 1%.

### ➤ Revestimento

Trata-se da última camada existente dentro da estrutura do pavimento, responsável por receber toda ação gerada pelo tráfego, sendo assim, pode-se inferir que a mesma está diretamente ligada a qualidade do subleito, podendo estar relacionada a espessura do revestimento a sua qualidade, além do número de passagem e da natureza de veículos que costumam passar pela mesma.

#### 2.2.1.3 Estabilização de Solos Para Pavimentação

De acordo com Silva *et al* (2015), a estabilização é um processo que busca melhorar as características físico-mecânicas do pavimento, que tenham a capacidade resistir a solicitação do tráfego.

Como também evitar algumas manifestações patológicas principalmente causada por erosões e/ou assoreamento da fundação do pavimento. Esse método pode ser feito de diferentes formas entre elas: granulométrica, química e mecânica ou até mesmo com o uso de algum resíduo sólido, vistos por meio da Figura 10.

**Figura 10** - Métodos de estabilização de solos



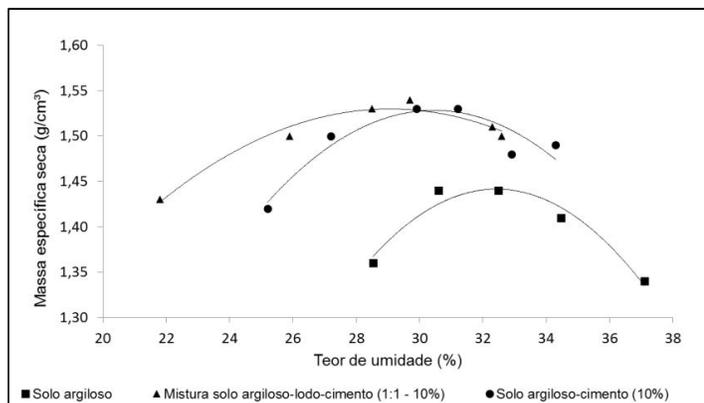
Fonte: Autor (2019).

### ➤ Compactação

Para estabilização mecânica, pode ser entendida como uma série de procedimentos técnicos que podem mudar o arranjo das partículas de solo e resistência, para Arrivabeni (2017), trata-se de um método amplamente utilizado em camadas de pavimento sendo complementar a outros.

O processo de pavimentação garante o solo de manifestações patológicas que poderiam ser causadas por cargas elevadas, fazendo assim com que a resistência ao cisalhamento do solo aumente consideravelmente através do equilíbrio entre a umidade ótima e a densidade específica seca do material estudado, essas informações podem ser evidenciadas através da Figura 11.

**Figura 11** - Curvas de compactação de solos

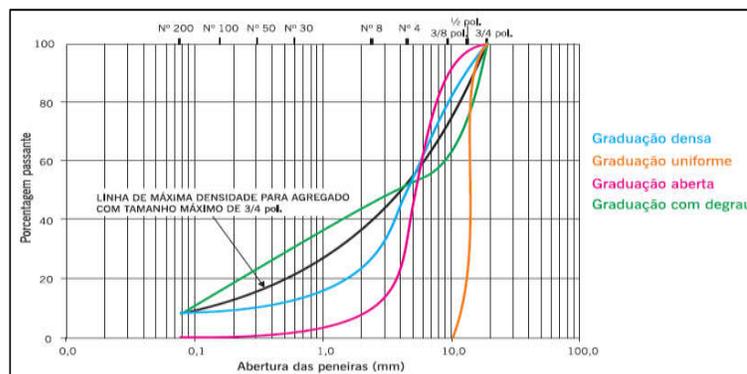


Fonte: Coelho *et al* (2015).

### ➤ Granulométrica

A estabilização granulométrica pode ser classificada como uma estabilização física pois, consiste na mistura de diferentes classes de solos para se atingir uma granulometria ideal que possa ser bem utilizada dentro da pavimentação, ou seja, solo que possuem granulometria contínua, todos esses dados são conferidos através de uma curva granulométrica conforme exibida na Figura 12.

**Figura 12** - Curvas granulométricas de diferentes graduações.



Fonte: Bernucci *et al*, 2010

Para Lima (2017), consiste na utilização de um material ou mistura entre dois solos que se enquadrem dentro de uma determinada especificação técnica, proporcionando assim à material resistência por garantir contato grão a grão, gerando assim menor permeabilidade e maior densidade entre as partículas.

Ainda sobre Lima (2017), é válido ressaltar que a identificação das características de um solo é dada através de ensaio de índices físicos e o CBR. Mas, para uma melhor análise da estabilização devem ser verificados os parâmetros de resistência bem como: ensaio de resistência triaxial ou de cisamento direto para obtenção o módulo de resiliência do solo.

#### ➤ Química

Para Machado *et al* (2017), a estabilização química é um dos métodos que apresenta maior emprego nos solos, onde são utilizados diversos aditivos que tem por objetivo melhorar as propriedades do solo e torná-las estáveis.

De acordo com Cajada (2017), a estabilização química envolve diversas misturas onde boa parte delas apresentam propriedades cimentícias ou aglomerantes designadas de ligantes como é o caso de diferentes químico, bem com: cimento, cal e betumen.

No que compete a estabilização química de forma líquida Silva *et al* (2015), defendem que o solo que passa por esse procedimento apresenta uma mistura uniforme e homogênea.

Além disso, é válido ressaltar que a estabilização por resíduos sólidos também pode ser entendida como uma estabilização química, pois em alguns casos se faz uso do hidróxido de alumínio de forma indireta. Segundo Silva *et al* (2015), esse sal químico é amplamente utilizado em ETA'S para tratamentos de água e limpeza de piscinas e poços. Logo pode - se inferir que por ser um bom estabilizante poderia ser utilizado em algumas camadas de pavimentação.

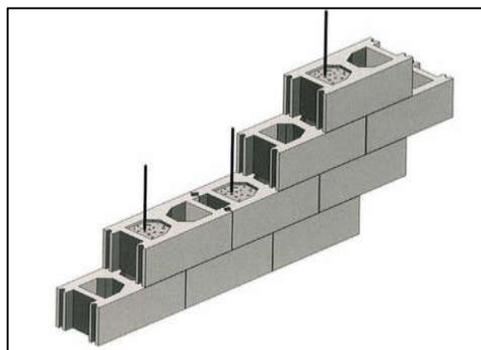
## 2.3 OBRAS CIVIS

### 2.3.1 Materiais de Construção Civil

#### 2.3.1.1 Blocos de Concreto

No que é referente ao processo de fabricação de blocos de concreto, trata-se de um processo bastante empírico, segundo a NBR 6136 (ABNT 2016): bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural, define que os blocos de concreto devem ser confeccionados em cimento Portland, água e agregados minerais, com ou sem inclusão de outros materiais, a Figura 13 demonstra um exemplo.

**Figura 13** - Exemplo de blocos de concreto.



Fonte: AutoQi (2018).

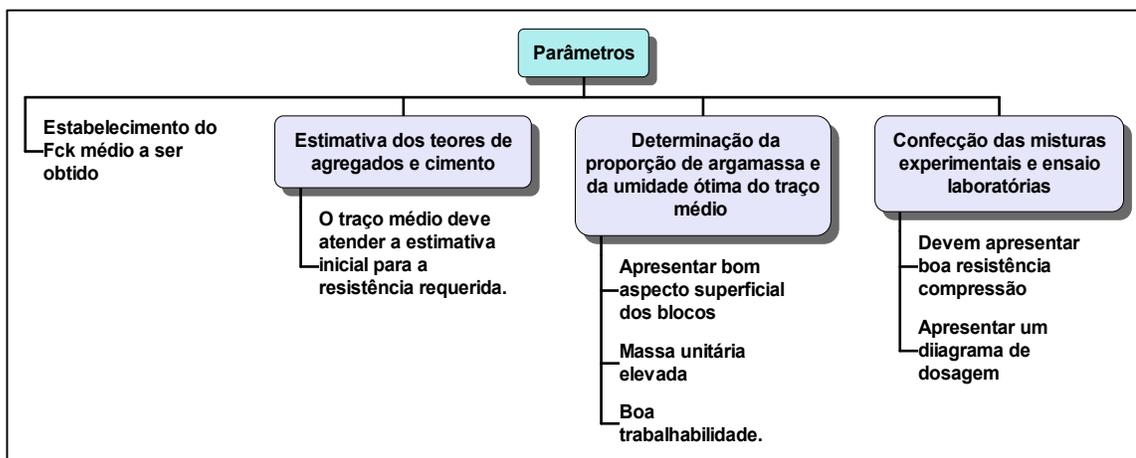
Para Casali (2003), o processo de fabricação de blocos, diferente do concreto armado o mesmo necessita de volumes significativos de ar, a premissa de que menos água é mais resistência não se aplica a esse processo.

No que compete a área de resistência dos materiais e análises estruturais, a resistência à compressão é de extrema importância para esse material, principalmente por sua função dentro de uma determinada estrutura, para que apresente durabilidade e segurança.

De acordo com Sande (2008), os materiais devem ser combinados de modo a se conseguir o máximo grau de compactação dos blocos durante a moldagem nas vibro prensas, para isso deve se trabalhar com agregados de dimensões máximas inferiores à metade da menor espessura da parede dos blocos, a não ser que, se faça uma verificação experimental

comprobatória da viabilidade de outra dimensão, para isso fazem-se necessário respeitar alguns parâmetros bem como os descritos na Figura 14.

**Figura 14** - Parâmetros para fabricação de blocos de concreto.



Fonte: Adaptado de Sandes (2008).

Na etapa de dosagem muitos cuidados devem ser tomados, principalmente no que é referente a incorporação de ar, além disso, é válido ressaltar que adições minerais são bem utilizadas pois, segundo Santos, Castro e Gonçalves (2018), esses materiais fornecem conforto ambiental, além de resistência e segurança sem contar que se a adição tiver origem de resíduos ou subprodutos o mesmo pode vim a preservar o meio ambiente sem perder características mecânicas.

De acordo com Machado e Maciel (2016), existe a possibilidade da utilização de outros materiais além dos convencionais, como é o caso do resíduo gerado pela ETA que podem ser utilizados em alguns processos dentro da construção civil por exemplo blocos de concreto.

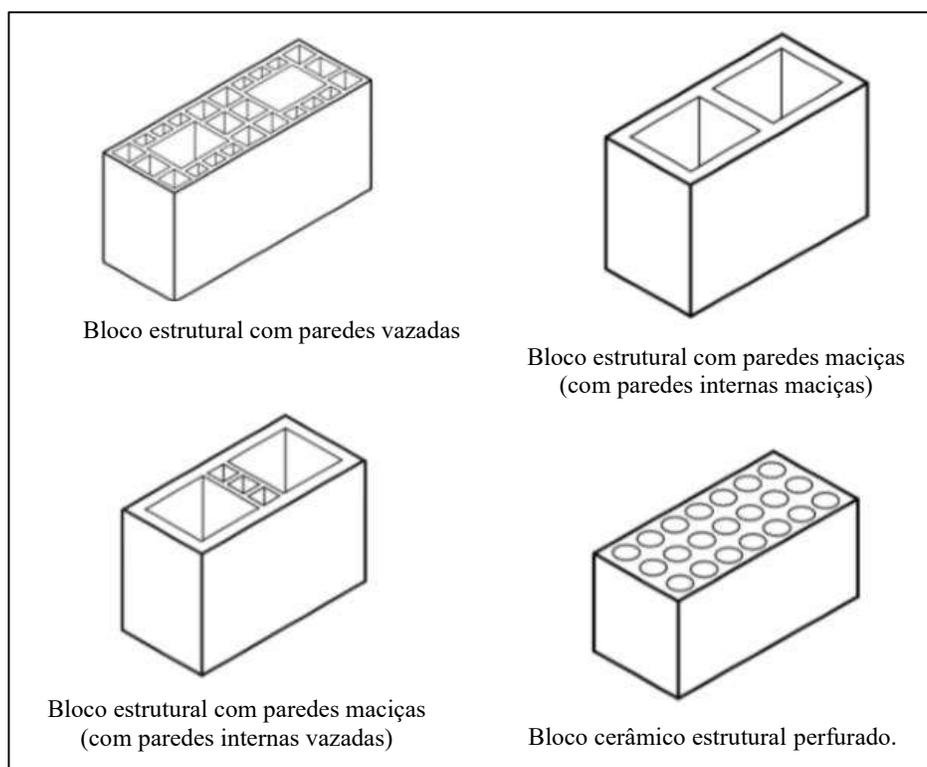
### 2.3.1.2 Blocos Cerâmicos

Segundo Giori (2018) a cerâmica é um dos materiais fabricados mais antigos e tem como componente principal a argila, os primeiros produtos eram umedecidos o que facilita a moldagem e depois submetidos a secagem retirando a umidade até que lhe fosse atribuída rigidez e resistência.

De acordo com ABCERAM (2019), trata-se de um material que compreende diversas misturas inorgânicas e não metálicos podendo ser classificados como cerâmica vermelha ou branca. Além disso, a cerâmica vermelha é amplamente utilizada na construção civil juntamente com cal, argila e muitos outros materiais, para fabricação de bloco estruturais e de vedação além de telhas.

De acordo com a NBR 15961-2 (ABNT 2011), Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto – Parte 2: Execução, os blocos cerâmicos são considerados elementos estruturais fazendo parte da alvenaria estrutural, podendo se classificado em de 4 formas diferente entre elas: com paredes vazadas, paredes maciças com paredes internas maciças, paredes maciças com paredes internas vazadas e com a face perfura conforme Figura 15.

**Figura 15 - Modelos de blocos cerâmicos.**

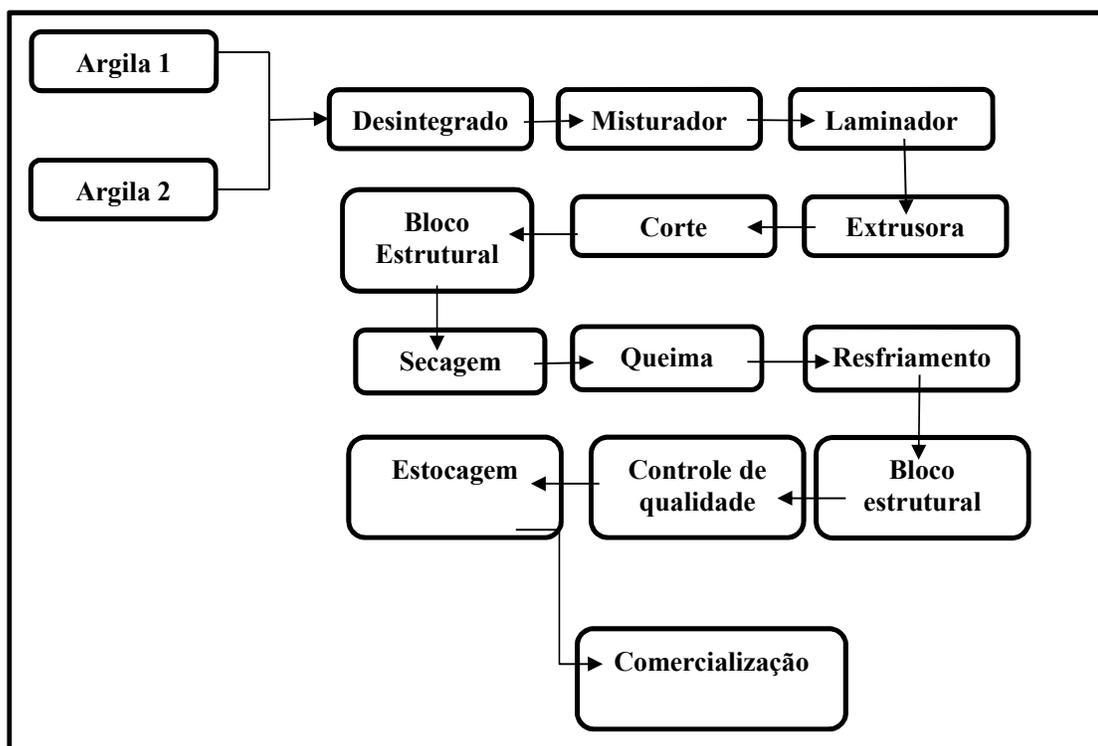


Fonte: NBR 15961-2 (ABNT 2011).

Além da NBR 15961-2 (ABNT 2011), outra norma também deve ser levada em consideração para fabricação de tijolos cerâmicos como é caso da NBR 7071 (ABNT 1983), - tijolo maciço cerâmico para alvenaria, a mesma complementa a NBR 15961-2 (ABNT 2011), pois, trata de dimensões geométricas dos blocos cerâmicos.

Segundo Azeredo (2015), o processo de produção da cerâmica vermelha é dividido conforme as seguintes etapas descritas no organograma da Figura 16.

**Figura 16** - Organograma do processo de fabricação de blocos cerâmicos



Fonte: Adaptado de Azeredo (2015);

Dentre essas etapas algumas se destacam por sua importância dentro do processo produtivo, uma delas é a fase de secagem, pois é responsável retirar a umidade presente na argila até que o material utilizado venha a passar por um processo de vitrificação o que garante a esse material resistência e durabilidade.

Além disso, também é válido citar que de acordo com Giore (2018 p. 20), afirma que “[...] dentre as diversas substâncias minerais consumidos, destacam-se, em razão do volume de produção atingido, as argilas de queima vermelha ou argilas comuns que respondem pelo maior consumo”.

Uma possível solução para resolver a problemática da falta de argila seria a utilização de resíduos sólidos, já que de acordo com Machado e Araújo (2014), a preocupação com sustentabilidade é frequente e os tijolos ecológicos fazem parte de uma inovação na área sendo eles materiais capazes de provocar uma revolução na área das estruturas de alvenaria.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 NATUREZA DA PESQUISA

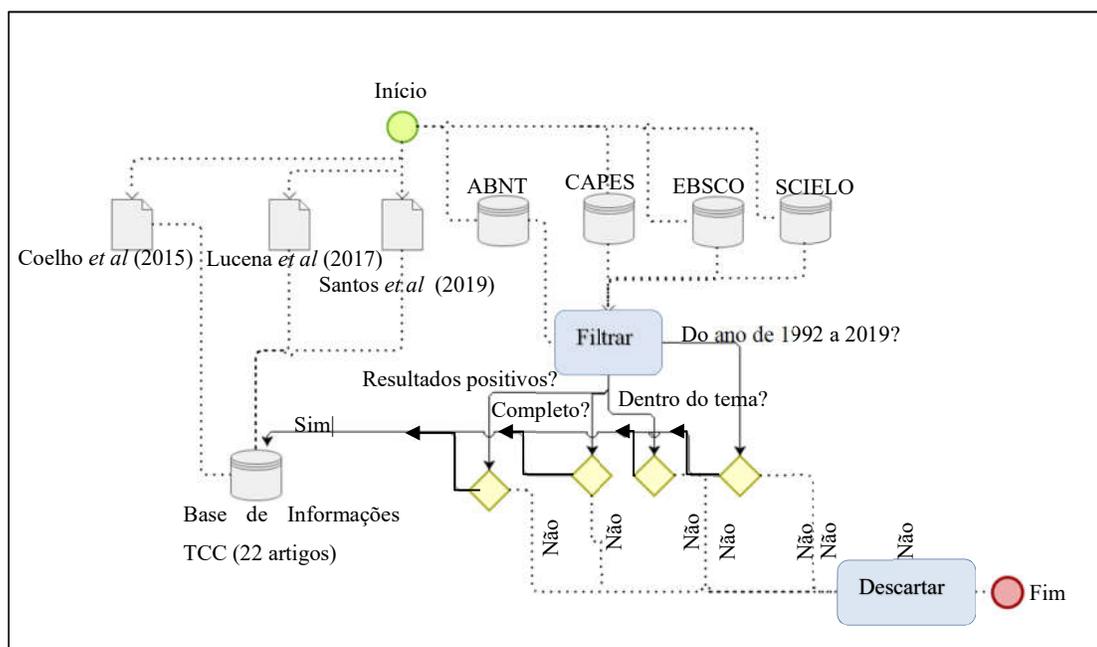
A presente pesquisa se caracterizou como de natureza bibliográfica e quali-quantitativa, pois através de uma revisão de literatura atualizada todos resultados foram qualificados e quantificados.

De acordo com Pereira (2018), esse tipo de pesquisa pode ser classificada como uma avaliação crítica de trabalhos científicos, podendo ser até mesmo definida como uma metanálise, ou seja, uma revisão de literatura que busca através de dois ou mais autores obter questões que sejam relevantes para o tema.

Diante disso, foram avaliadas as metodologias aplicadas por Coelho et al (2015), Lucena (2016), Santos *et al* (2019), com o auxílio de literaturas atualizadas, ABNT (Associação de Normas Técnicas Brasileiras) e DNIT (Departamento Nacional de Transportes), para avaliar os diversos usos possíveis de lodo provenientes de ETA'S em obras de Engenharia.

Para isso, foi necessário a construção de uma base de dados atualizada e completa, contendo um total 3 artigos principais, além de outros artigos retirados 4 bases de dados diferentes, a qual foi usada no trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, sendo assim, a mesma contém um horizonte 22 artigos organizados de forma cronológica a obtenção dessa base de dados final se da através da Figura 17.

**Figura 17 - Fluxograma inicial da metodologia**



Fonte: Autor (2019)

### 3.2 ESCOLHA DA LITERATURA BASE

Conforme visto, no capítulo anterior foi tomado como base as metodologias aplicadas Lucena *et al*(2017), Coelho *et al* (2015) e Santos *et al* (2019), de acordo com as citatas acima.

No caso de Lucena *et al* (2017), trata-se de um artigo científico – qualis “B2” que descreve a utilização de lodos provenientes de Estações de tratamento de água e esgoto e seu potencial estabilizantes em camadas de pavimentação, pricipalmente por apresentar uma metodolgia consistente e contemplar os resultados que são necessários para obtenção dos objetivos desse trabalho.

Já a obra de Coelho *et al* (2015) – qualis “B5” também trata-se de um artigo científico complementar a de Lucena *et al* (2017), mudando apenas o objeto de estudo, pois tratam-se de estações de tratamento de água diferente, além disso é valido ressaltar que ambas são de extrema importância para verificação dos parâmetros técnicos utilizados para dar destinação final ao lodo em camadas de pavimentação.

Por fim, o artigo científico de Santos *et al* (2019), – qualis indefinido (ultimo quadrenio foi em 2016), foi escolhido, pois dentre as base de dados estudadas na fase de pré – projeto constatou-se que a maioria das pesquisas que envolvem o uso de lodo de ETA na construção civil e viária são desatualizadas, ademais o estudo de um artigo que foi publicado no 2019 acrescentou de forma positiva a evolução das pesquisas com esse material de características expansivas.

### 3.3 LEVANTAMENTO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS LODOS DE ETA'S

A princípio, é válido relembrar que a pesquisa suscitou à possibilidade da utilização do lodo em obras civis e viárias, bem como diferentes matérias: em camadas de pavimentação, blocos de concreto, em materiais cerâmicos de acordo como visto na fundamentação teórica.

Tendo em vista o exposto, para que esse resíduo possa ser utilizado em obras de engenharia, foi necessário verificar as características químicas da composição do lodo e implicações da mesma em obras de engenharia.

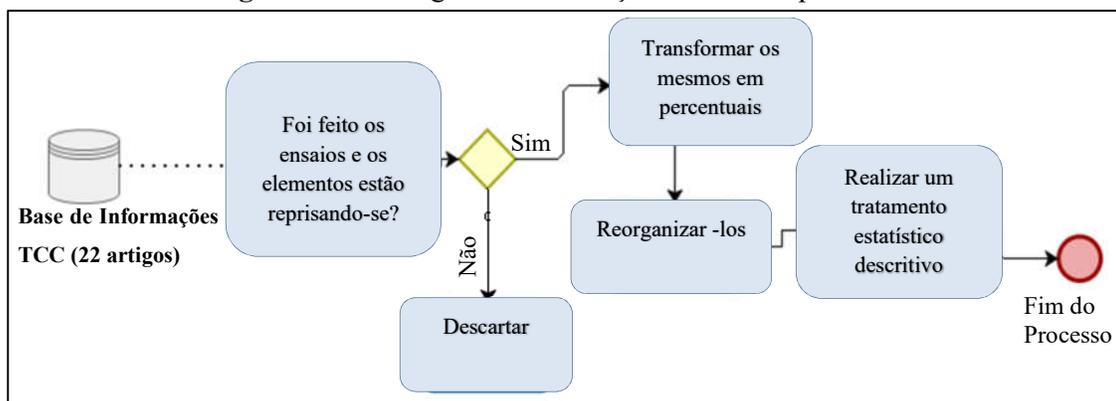
No que diz respeito às implicações químicas, elas apresentaram grande valor, já que através da análise dos principais produtos existentes nesse composto é possível inferir os melhores usos em construções.

Por fim, a obtenção desses dados foi feita com a base de dados citada acima, a qual foi selecionado 10 dos 22 artigos, pois os escolhidos apresentavam em sua metodologia descrita

pele a caracterização química por ensaio de difração de raios x, para logo em seguida levantar os percentuais de cada elemento químico contido na microestrutura do lodo de diferentes ETA'S brasileiras.

Além disso, também foi desenvolvido um tratamento estatístico descritivo levando em consideração fatores como: percentual médio dos elementos encontrados e desvio padrão da amostra, sendo que a metodologia também pode ser descrita conforme a Figura 18.

**Figura 18** - Fluxograma da obtenção dos dados químicos



Fonte: Autor (2019)

Ademais, deve lembrar-se que cada ETA possui um processo de tratamento diferente, logo as características químicas e as especificações físicas podem variar. Porém, algumas informações são próximas.

### 3.4 EVOLUÇÃO DAS PESQUISAS DO USO DE LODO DE ETA EM OBRAS DE ENGENHARIA.

Para avaliar a evolução das pesquisas, foi utilizado a base de dados citada no primeiro capítulo da metodologia, sendo avaliados um total de 15 dos 22 artigos, selecionando apenas os trabalhos que buscaram inserir esse resíduo como material de construção, verificando assim as principais formas que o lodo da estação de tratamento está sendo utilizado.

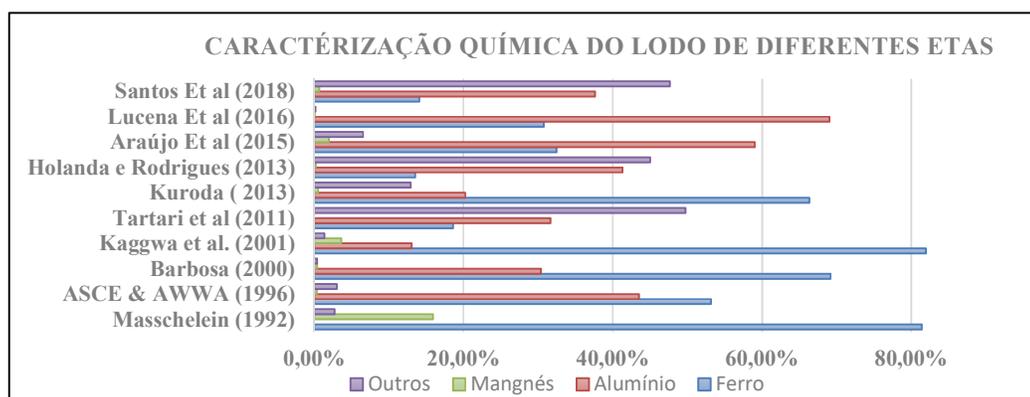
Para isso, foi definido as 4 formas a qual esse resíduo foi empregado nas pesquisas bem com: in natura, seco, com adição de cimento e calcinado a qual instituição, revista ou evento foi publicado os requeridos artigos dos anos de 2004 a 2019, com seus respectivos autores.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 AVALIAÇÃO DE FORMA BIBLIOGRÁFICA DAS IMPLICAÇÕES QUÍMICAS DO USO DE LODO ETA EM OBRAS CIVIS E VIÁRIAS

O tratamento de água de uma ETA é feito de acordo com a demanda microbiológica existente em cada região. Apesar da distinção das formas de tratamentos, pode-se verificar a presença e a repetição dos elementos: alumínio, ferro e manganês, essa análise pode ser verificada através da Figura 19.

**Figura 19** - Principais elementos químicos encontrados em ETAS brasileiras.



Fonte: Autor (2019)

Contudo, observa-se que na figura acima que de acordo com Masschelein (1992), no início dos anos 1990, não foi constatado a presença do alumínio, isso ocorre devido ao fato que os processos de tratamento de água anteriormente eram conduzidos majoritariamente por ferro e outros elementos.

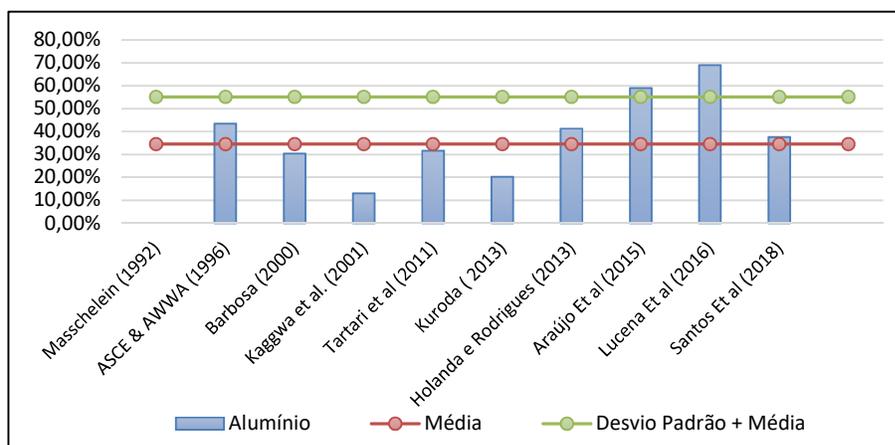
No que se refere ao alumínio, o mesmo apresenta umas das maiores importâncias para o tratamento de água, pois em média segundo Silva *et al* (2015), ele é encontrado em alguns casos em teores mínimos de 16%, além de apresentar grande capacidade de estabilização de solos.

Ademais, é válido ressaltar que a presença de ferro, alumínio e manganês pode ser comum na maioria das formas de tratamento, porém, o fator preponderante será a concentração que o mesmo será inserido no tratamento.

Para Moruzzi (2012), as formas de tratamento podem ser simples ou complexas a depender da microbiologia existente e da presença de metais pesadas no manancial, pois, outros elementos além dos 3 principais conforme citados acima poderão ser utilizados.

Além disso, o mesmo também é presente em bacias subterrâneas de microbiologia não agressiva apresentando baixos índices de coliformes fecais. Normalmente é utilizado em forma de sal como sulfato de alumínio, apresentando assim, média de aproximadamente 34,58% com um desvio padrão de 20,58%, esses dados podem ser descritos conforme a Figura 20.

**Figura 20** - Tratamento estatístico descritivo da concentração de alumínio.

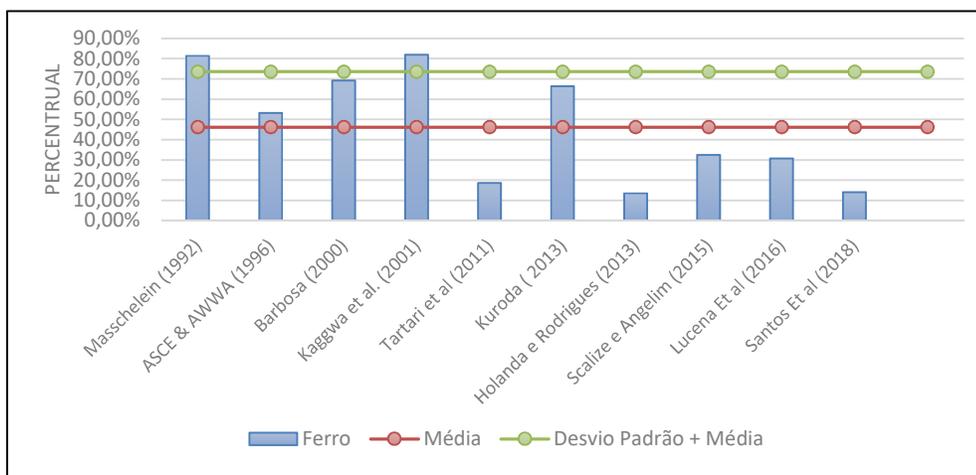


Fonte: Autor (2019)

O ferro ainda é o elemento majoritariamente presente nos processos de tratamento de água, principalmente antes dos anos 2000. Além do mais, o mesmo é encontrado até hoje em percentuais bem elevados, quase como o alumínio com valores médios de 46,15% e desvio padrão de 27,47%, esses dados são observados da Figura 21.

Além disso, destaca-se a sua boa incorporação em materiais cerâmicos em função de das argilas apresentarem altos teores de ferro.

**Figura 21** - Tratamento estatístico descritivo da concentração de ferro.



Fonte: Autor (2019)

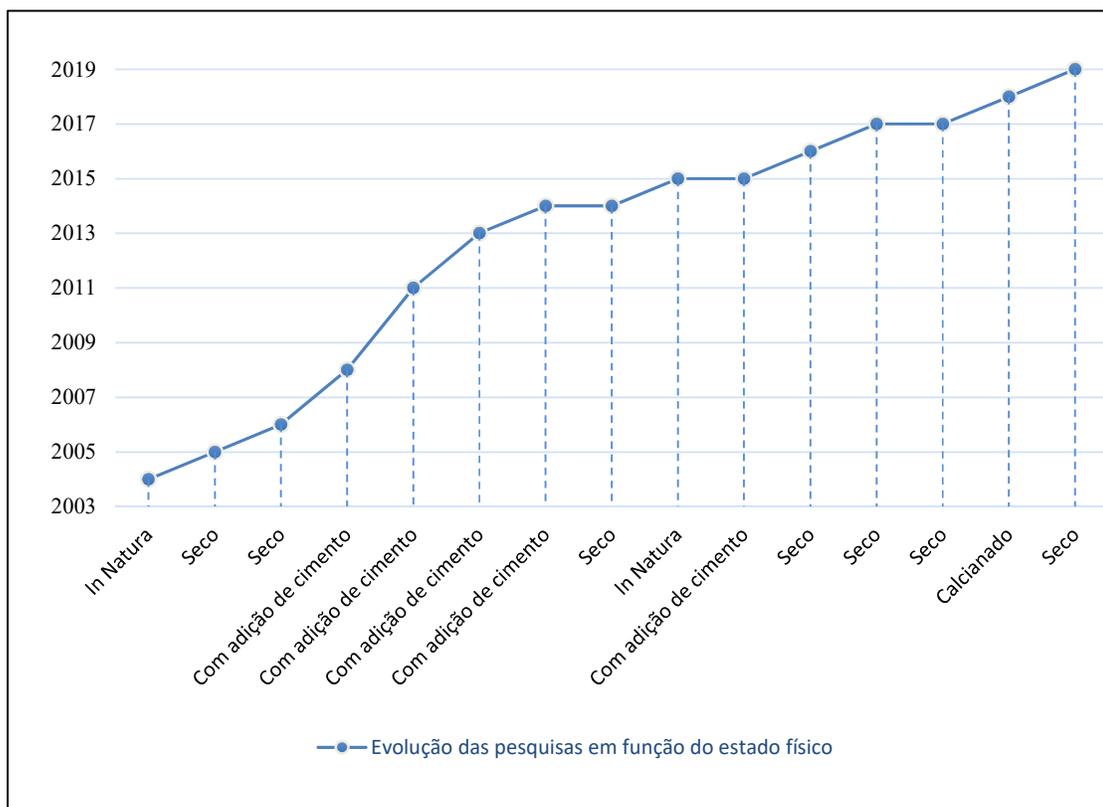
## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS PESQUISAS DO USO DE LODO DE ETA EM OBRAS DE ENGENHARIA.

Durante a fase de obtenção dos dados, observou-se que muitas pesquisas que eram feitas até o início dos anos 2000, utilizaram esse material in natura, a grande problemática foi que, muitas manifestações patológicas eram geradas pelos autores em função do excesso de umidade.

A forma em que o material se encontra, é de extrema importância para verificar o desempenho desse resíduo de forma positiva ou negativa com seu uso em obras de Engenharia Civil.

Dessa forma, foi gerado um horizonte dos principais artigos e seus respectivos autores, ano de publicação, relacionado a forma em que foi trabalhado, vistos através da Figura 22 e da Tabela 1.

**Figura 22** - Curva da evolução das pesquisas



Fonte: Autor (2019)

**Tabela 1-** Relação entre o estado físico e evolução das pesquisas de cada autor

Item	Ano	Instituição/ Revista	Estado Físico	Autor
1	2004	Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável	Seco	Cosin <i>et al</i>
2	2005	23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental	seco	Hoppen <i>et al</i>
3	2006	Nova Química	Seco	Hoppen <i>et al</i>
4	2008	Ciencia e Ingeniería Neogranadina	Com adição de cimento	Porras <i>et al</i>
5	2011	Cerâmica	Com adição de cimento	Tartari <i>et al</i>
6	2013	Cerâmica	Com adição de cimento	Rodrigues e Holanda
7	2014	Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia	Com adição de cimento	Machado e Araujo
8	2014	Revista Matéria	Seco	Pinheiro <i>et al</i>
9	2015	Cerâmica	In Natura	Araujo <i>et al</i>
10	2015	Revista Eletrônica de Engenharia Civil	Com adição de cimento	Coelho <i>et al</i>
11	2016	Revista DAE	Seco	Gonçalves <i>et al</i>
12	2017	Scientific Journal Engineering and Science	Seco	Souza e Filho
13	2017	Revista Agronegócio e Meio Ambiente	In Natura	Lucena <i>et al</i>
14	2018	Cerâmica	Seco	Santos <i>et al</i>
15	2019	Seminário de Engenharia Geotécnica do estado do Rio Grande do Sul	Seco	Santos <i>et al</i>

Fonte: Autor (2019)

A pesquisa de Cosin *et al* (2004), buscou caracterizar o lodo gerado pelas ETA'S do estado de São Paulo, além de estudar seu potencial como parte constituinte da cerâmica vermelha. Nesse trabalho, os autores buscaram utilizar a argila do tipo “taguá”, com os percentuais de 0 a 90 do resíduo seco. Como o resultado final, optou-se por trabalhar com esse material em percentuais próximos a 20 para que fique dentro dos parâmetros normativos.

Sendo assim, pode-se inferir que para a pesquisa do autor acima, foi trabalhado com esse resíduo na argila “taguá”, principalmente por a mesma apresentar boa capacidade de absorção de materiais diversos e particularmente por sua composição apresentar-se como heterogenia. Dessa maneira, percebe-se que alguns elementos que estão presentes na estrutura do lodo também fazer parte dessa argila, ou seja alumínio e ferro.

No que é referente a pesquisa de Hoppen *et al* (2005), sua obra buscou avaliar a incorporação do lodo ETA de Passaúna de Curitiba- Paraná, na matriz de concreto utilizando os percentuais sobre a massa de areia de 0 a 10. Como disposição final, os autores chegaram a

conclusão que possui potencial para ser utilizado, porém alguns cuidados devem ser tomados, pois esse material só é indicado em teores inferiores a 7% sobre o peso da areia para traços até 20 MPa, acima desse percentual o valor a resistência desce para próximo de 15 MPa, acredita-se que isso ocorra em função da elevada umidade do material.

Ainda sobre o mesmo autor principal, porém em uma pesquisa subsequente, Hoppen et al (2006), teve por objetivo verificar a utilização do lodo da mesma ETA para a substituição parcial de cimento em teores de 4% a 8%. O desfecho demonstrou que esse resíduo poderia ser utilizado como material de contenção em forma de paredes de concreto, dessa maneira as misturas acima de 4% ficam restritas a utilização na área de pavimentação residencial na forma de calçadas e pisos, ou seja, apresentando assim baixa resistência a compressão.

As pesquisas subsequentes de Hoppen *et al* (2005) e (2006), apresentam-se na mesma linha, entretanto o autor principal escolheu modificar o objeto da substituição do lodo, sendo trabalhado no ano de 2005, para comutar a presença de areia e no ano subsequente para permutar cimento em diferentes percentuais.

Percebe-se, a tentativa do autor em testar parâmetros diferente para o uso desse resíduo, todavia em função dos resultados finais não apresentarem diferenças significativas, o seu uso como parte constituinte na matriz de concreto não apresenta elevada aceitação.

Entende-se, que esse fato ocorreu em função da baixa capacidade do recebimento desse material no presente estado físico a qual se encontra, sendo trabalhado pelo autor apenas seco, e não desidratado totalmente ou queimado em forno mufla, o que poderia ser grande de valor, uma vez que o lodo conforme visto acima apresenta muito metais particularmente o alumínio e o ferro.

Entretanto, a entrada do alumínio em forma de sulfato, a qual o mesmo é inserido nas etapas de tratamento de água segundo visto na fundamentação teórica, o seu acesso apenas seco na microestrutura do concreto poderia ser altamente ineficaz, pois esse sulfato poderia reagir com o tri - aluminato de cálcio (C3A) do cimento, causando a formação de cristais de etringita (C3A.3CS.H32).

A formação desses cristais de etringita, após a hidratação do cimento resultam em uma reação química expansiva no concreto, gerando fissuras em sua estrutura. Contudo, por isso que o autor prefere indica-lo nesse estado em teores inferiores a 4% para substituição do cimento e inferior 7% da areia.

Diferentemente da obras Hoppen et al (2005), Hoppen *et al* (2006) e Cosin *et al* (2004), o trabalho Porras *et al* (2008), incorporou o lodo para fabricação de tijolos de solo-cimento, ou seja tijolos ecológico através da caracterização do lodo da ETA 03 e 04 da cidade de Campinas

no estado de São Paulo. Verificou-se, que esse possível material se mostra promissor, todavia somente quando é utilizado em percentuais inferiores a 50%, juntamente ao cimento e resíduos de construção civil devido a sua alta umidade.

Percebe-se que maior preocupação da pesquisa de Porras et al (2008), trata-se de dar uma destinação final ao uso lodo para os tijolos ecológicos, uma vez que o seu uso está relacionado a vedação da edificação ou até mesmo estando ligado aos aspectos de artesanato.

Dessa forma, entende-se o motivo do autor estipular o seu uso até valores que seja inferior a metade da composição de solo-cimento, sem levantar questionamento para a possível hidratação dos compostos do cimento, uma vez que conforme citado apresenta uso somente para vedação.

Já a produção de Tartari *et al* (2011), buscou incorporar as massas de cerâmica vermelha através da caracterização do lodo da ETA Tamanduá localizado no Paraná, para fins estruturais e de artesanato local. Foi observado que o resíduo possibilita a incorporação, no entanto apenas com adição de cimento a argila devido as características desplastificantes do resíduo e elevado tamanho dos grãos.

Diferentemente do tijolos solo - cimento que são mais voltados para vedação, a pesquisa de Tartari *et al* (2011), incorporou o resíduo as massas da cerâmicas vermelha, infere-se que o mesmo optou em adicionar um aglomerante a mistura, afim de trabalhar a finura do cimento ao ganho de resistência do produto final, principalmente devido as zonas de transição causadas pelas diferença da granulometria dos matérias.

Para o trabalho de Rodrigues e Holanda (2013), esses autores também investigaram a possibilidade do uso do lodo de ETA em tijolos ecológicos. Foi concluído, que o mesmo poderia ser utilizado como um material de construção de poder aquisitivo baixo para permutar até 1,25% da massa do solo na fabricação de tijolos em forma de solo-cimento, o seu uso deve ser limitado, pois ele poderá reagir com a hidratação do cimento.

Ao analisar que no ano de 2008, o trabalho do autor Porras *et al*, comparado a pesquisa comentada acima, a falta do primeiro autor do ano de 2008, a não levantar questões relacionadas as manifestações patológicas que poderiam gerar nos blocos de solo-cimento, logo percebe-se a falta de uma análise da viabilidade técnica com um todo não somente apresentar-se como possível material de vedação, observa-se assim, a evolução das pesquisas quanto uso desse resíduo sólido nos blocos de solo-cimento.

Análogo a Porras *et al* (2008) e Rodrigues e Holanda (2013), Araújo e Machado (2014), utilizaram o lodo da ETA localizada no Vale do Parnaíba no estado Rio de Janeiro. A pesquisa suscitou na substituição do solo pelo resíduo para fabricação de tijolos ecológicos de

solo-cimento. Com isso, obteve que esse novo material de construção não foi aprovado no teste de compressão, os autores recomendam a utilização dele em solos com silte.

Conforme já mencionado anteriormente, os tijolos ecológicos são uma ótima alternativa para dar uma destinação final ao lodo, ademais a falta de resistência do mesmo é preocupante, infere-se que a pesquisa de Araújo e Machado (2014), indica que o uso de lodo de ETA em solos siltosos, principalmente em função das diferentes granulometrias, sendo assim os grãos menores poderiam suprir os índices de vazios gerados pelos maiores, fazendo com que haja uma maior acomodação da partículas.

A obra de Pinheiro *et al* (2014), assim como os trabalhos citados acima foi verificado o uso de lodo em matérias cerâmicos, com o resíduo coletado na ETA de Leopoldina no estado de Minas Gerais, a obra buscou analisar o seu uso para fabricação de materiais com a cerâmica vermelha, através de ensaios de granulometria, análises morfológicas e químicas, como resultado obteve-se um elevado potencial para seu uso, pois o mesmo incorpora bem as massas sem perda de resistência.

Já para Araujo *et al* (2015), em sua obra explorou obter parâmetros físico-químico para utilizar o Lodo da ETA Meia Ponte no Centro Sul do estado de Goiás. Sendo assim, foram realizados ensaios de índices físicos e químicos, o que resultou na aptidão para ser usado como material de construção civil, pois em sua análise química foram encontrados metais como alumínio que em forma de cinza é bastante útil como matéria prima de materiais cerâmico. Com relação aos ensaios de índices físicos, verificou-se que o mesmo poderá ser empregado para substituição de solo/areia.

As pesquisas de Pinheiro *et al* (2014) e Araújo *et al* (2015), mostram-se de forma parecida, principalmente por buscarem inserir esse resíduo para fins cerâmicos, o grande fator é que os trabalhos apresentados não constituem nos aspectos finais pontos relacionados a resistência. Pode-se inferir, que pela presença dos dois elementos químicos já citados nesse capítulo que quando forem convertidos em cinza, resultarão na formação de silicatos o que poderá dar ganho de resistência mecânica aos matérias.

O trabalho de Coelho *et al* (2015), procurou comutar o uso do lodo da ETA Cafezal da cidade de Londrina no estado do Paraná, para ser utilizado em camadas de pavimentação bem como: base, sub-base e subleito. Ocorreu que, para as misturas de solo-lodo e solo-lodo-cimento presenciou-se uma aceitação positiva, principalmente para adição de cimento ao resíduo sólido, sendo aprovado somente para a camada de base, apresentando assim boa aplicabilidade, porém exigindo mais pesquisas para seu uso.

De forma oposta as obras apresentadas até o momento, a pesquisa de Coelho *et al* (2015), buscou trabalhar esse resíduo para pavimentação, tendo bons resultados quando o mesmo é incorporado ao cimento. Portanto, entende-se que esse fato ocorre em função da boa disposição entre os grãos, evitando assim que o resíduo seja trabalhado de forma não destorroada fazendo com que haja queda da resistência.

Além disso, é válido ressaltar que a principal preocupação, deve-se a quantidade de materiais expansivos presentes no lodo de ETA, sendo que para pesquisas devem buscar utilizá-lo na pavimentação, estabelecendo o critério da norma DNIT (2006), para que a quantidade não seja superior a 2% para camadas de subleito, 1% para sub-base e 0,5 % para base.

Já o trabalho de Gonçalves *et al* (2016), utilizou o lodo da mesma ETA que Coelho (2015), porém para ser utilizado como uma barreira impermeabilizando de aterro sanitário, sendo assim esse resíduo foi utilizado de forma desidratada, juntamente com solos arenosos e argilosos respectivamente nos traços de 1:0,25 e 1: 0,5. Verificou-se, que os mesmos apresentam coeficiente de permeabilidade baixo juntamente com as misturas de solos propostos, fazendo com que o seu uso seja próprio para aterros sanitários.

Constata-se, que isso ocorreu em função da própria escolha dos solos a mistura do lodo de ETA, devendo ao fato da baixa permeabilidade do solo, isso ocorre em função da própria granulometria do material, caso fosse trabalhado um solo de areia grossa ou pedregulho o resultado obtido pelo autor não seria relevante para o sucesso da pesquisa.

Já a obra de Sousa e Filho (2017), diferente da maioria dos trabalhos apresentados até o momento teve por objetivo reaproveitar o lodo da ETA 1 e 2 da cidade de Várzea Grande no estado do Mato Grosso, nas mesmas estações de tratamento de água, para isso fez-se necessário avaliar o PH, turbidez, cor e demanda bioquímica de oxigênio.

Entende-se, que tal fato ocorreu em função que esse resíduo não poderia ser lançado no corpo recepto da ETA, em função dos sedimentos sendo indicado pelo somente para lavagens dos filtros, é válido ressaltar que esse fator ocorre em função de que ETA deve estar de acordo com os parâmetros da resolução CONAMA N° 357 (2005), dando assim destinação para o aterro sanitário e para a lavagem dos filtros.

Similar a Coelho *et al* (2015), Lucena *et al* (2017), usou lodo de ETA para pavimentação, apresenta o mesmo objeto de estudo mudando apenas local, pois foi utilizado o resíduo da cidade de Igarassu em Pernambuco, além disso a autora inspecionou o seu impacto ambiental nas obras de pavimentação em camadas de base, sub base sendo analisados parâmetros relacionados a umidade, PH, recalque e análises química de metais pesados.

Verificou-se, que a curto e médio prazo o seu uso em camadas de base não prejudicaria o meio ambiente tanto de forma química quanto biológica, além do mais a pesquisadora complementa informando que pode ser disposto no solo para sanar problemas ambientais e sociais.

Já o feito de Santos *et al* (2018), corresponde as linhas de pesquisas na área de matérias cerâmicas como é o caso dos trabalhos: Araujo *et al* (2015), Araújo e Machado (2014), Rodrigues e Holanda (2013), Tartari *et al* (2011), Hoppen *et al* (2006), Cosin *et al* (2004), não obstante a pesquisa de Santos e Manzato (2018), trabalhou com a geopolimerização do lodo através de um processo de calcinação.

Nessa pesquisa, no que é referente a resistência mecânica os dois autores conseguiram em apenas um dia de cura uma resistência a compressão de 10 MPa e com a cura completa de 28 dias chegou-se a 60 MPa, segundo os autores o mesmo ainda precisa ser amplamente estudado, pois no momento no Brasil ainda não existe nenhuma norma que o regulamente o uso de geopolímeros em material de construção.

Conduto, observa-se o exponencial crescimento das pesquisas que comutaram o lodo de ETA nas argilas, seja para produção de materiais cerâmicos voltados ao ganho de resistência mecânica como adição de geopolímeros ou quando os autores buscaram apenas dar uma destinação final do resíduo sólido sem atentar-se as manifestações patológicas.

O Trabalho de Santos *et al* (2019), próximo as pesquisas de Coelho *et al* (2015) e Lucena *et al* (2017), analisou a possibilidade da utilização do lodo da ETA da Companhia Riograndense de saneamento localizado no estado do Rio Grande do Sul para obras de engenharia.

Os autores em questão, buscaram através da secagem integrar a esse resíduo em diferentes horizontes de solo, sendo assim foi inferido pelos mesmos que, o material de estudo pode ser utilizado em obras geotécnica, atentando -se as características do solo utilizado.

Por fim, ao verificar as pesquisas de Coelho *et al*(2015), e Lucena *et al* (2017), que buscaram trabalhar o mesmo apenas em camadas de pavimentação quando observado o trabalho apresentado por de Santos *et al* (2019), é possível depreender a forte tendência do lodo de ETA ser utilizado como um futuro material de construção, pois o mesmo além de versátil apresenta integração positiva com muitos materiais principalmente com o solo para diversas obras de engenharia.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na fundamentação teórica, nos principais elementos químico e na evolução das pesquisas, o uso de lodo de ETA em obras de engenharia vem sendo extremamente eficiente, pois esse resíduo apresenta um percentual bastante elevado de alumínio, próximo aos 35%, o que entende-se como positivo, uma vez que é utilizado como sal na forma de sulfato de alumínio para o tratamento de água, apresentado assim potencial elevado para estabilização de solos.

O outro ponto importante analisado em relação a evolução das pesquisas desse material, foi a utilização desse resíduo sólido em materiais cerâmicos; os resultados foram de melhores potenciais quando o mesmo for utilizado juntamente com a adição de cimento.

Além do mais, é válido ressaltar a forte tendência da evolução das pesquisas com esse resíduo para que seja empregado juntamente com os materiais cerâmicos em forma de geopolímero, através de um processo de calcinação, chega-se a elevados valores de resistência a compressão próximos aos 60 MPa.

Contudo, finalizando seu uso em materiais cerâmicos alguns cuidados devem ser tomados ao utilizar esse resíduo, bem como: a forma em que o mesmo é utilizado principalmente em relação a sua umidade, pois além de comprometer a resistência mecânica pode causar desse modo, manifestações patológicas relacionadas a retração hidráulica desses materiais.

No que se refere ao seu uso no concreto, pode-se verificar poucas pesquisas diferentemente dos materiais cerâmicos. A principal preocupação demonstrada pelos autores, trata-se da umidade e por isso recomenda-se seu uso apenas desidratado, ou queimado sem a presença em forno mulfla.

Todavia, outra possibilidade a ser mencionada, seria a elevada presença do sulfato de alumínio, fazendo com que haja formação de cristais de etringita após a hidratação do cimento. De acordo com os autores fica indicado para usos em pavimentação residencial com baixo carregamento.

Por fim, junto ao seu uso em materiais cerâmicos as pesquisas relacionadas ao emprego desse material em obras de pavimentação, mostram-se bastantes favoráveis uma vez que já é utilizado de formar incipiente em rodovias.

Segundo o que foi arrematado pelos autores, o seu melhor uso deve atender a dois fatores importantes; principalmente o tipo de solo ao qual é inserido podendo assim ter variações elevadas quanto a resistência e seu uso juntamente em forma de solo-cimento-lodo.

Portanto, o seu emprego principalmente como base estabilizante para pavimentação, mostra-se extremamente auspicioso devido as altas concentrações de alumínio na forma de sulfatos.

Além disso, poderá causar reações catalisadoras entre o solo e a água concedendo considerável ganho de resistência mecânica em relação aos carregamentos das rodovias. Porém, ensaios devem ser realizados para determinar a quantidade ideal de adição de lodo para as resistências desejadas.

Dessa forma, será de suma importância destacar que esse trabalho abre a possibilidade para diferentes formas de continuação bem como: avaliação do lodo da estação de tratamento de água de Palmas-TO para a estabilização de camadas de pavimentação, desenvolvimento de um modelo de gerenciamento desse resíduo para municípios de pequeno porte, para que seja utilizado em materiais cerâmicos, matrizes de concreto e obras de pavimentação, a partir de ensaios e do número de habitantes e entre outros.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural -. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação -. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961 -2**: Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto – Parte 2-. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7071**: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria -. Rio de Janeiro, 1983

**ABCERAM, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA**. Informações técnicas. Portal ABCERAM [Online]. Disponível em: <<http://abceram.org.br>>. Acesso em: 18 Abril 2019.

ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J.; MAURICIO, R. M. Blocos de concreto: a busca de um traço otimizado. Sao Paulo, 2002. **Revista IBRACON**, abr./jun. 2002 v. 10, n. 29 p. 32-39.

ARRIVABENI, B. S. **Alternativas para estabilização granulométrica e química de solo de estradas florestais**. Dissertação (Dissertação em engenharia civil). Viçosa-MG, p. 62. 2017.

ACHON, Cali Laguna; SOARES, Leonardo Vieira; MEGDA, Cláudia Regina. Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água. **In: congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**, 23., 2004, Campo Grande. p. 1 - 9.

ARAÚJO, F. C. et al. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Cerâmica**, Iguazu, Pr, v. 2, n. 1, p.450-456, jan. 2015.

AZEREDO, D. N. G. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas em blocos cerâmicos estruturais através do método ultrassom na região de campos dos goytacazes - RJ**. Tese (Tese de Doutorado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Estruturas – Universidade Estadual do Norte Fluminense Espírito Santo). Campos Dos Goytacazes –Rio de Janeiro, p. 154. 2015

BALBINOTI, J. R. et al. Use of Moringa oleifera seeds as a coagulant for the treatment of water; Uso de sementes de Moringa oleifera como agente coagulante para o tratamento de água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5. p 1748 - 1760, 2018.

BARBOSA, R.M. **Avaliação do impacto de efluentes (lodos) de estações de tratamento de água à biota aquática através de teste de toxicidade**. 2000. Tese (Doutorada). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Paulo

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti de; CERATTI, Jorge Augustos Pereira. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: Formação básica para Engenheiros**. 3°. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010. 501 p.

BRASIL Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico Divisão. **Manual de pavimentação ao**. 2. ed.. Rio de Janeiro: DNER. 1996. Manual de técnicas de pavimentação. São Paulo: Pini. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – Lei de crimes ambientais – **Lei N° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**, Brasília, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução **CONAMA n° 357/2005**, de 17 de março de 2005.

CASALI, J.M., et al. Efeito da incorporação de ar nas propriedades de uma argamassa industrializada para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural, **V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. São Paulo-SP, ANTAC, 2003.

CAJADA, J. C. A. **Chemical stabilization of different soils with addition of polypropylene fibers; estabilização química de diferentes solos com adição de fibras de polipropileno**. Dissertação (Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Geotecnia-Universidade de Coimbra). Coimbra-Portugal, p. 83. 2017.

CARRASQUERO, Sedolfo et al. Remoción de turbidez usando semilla de Tamarindus indica como coagulante en al potabilización de aguas/ Remoção da turbidez usando a semente de Tamarindus indica como um coagulante na purificação de água. **Revistas Base de La Ciencia**, Venezuela, v. 4, n. 1, p.19-43, abr. 2019.

COELHO, Rodrigo Vaz et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. **Rec: Revista eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 2, p.11-22, set. 2015.

COSTA, Alexandra Lima da *et al.*; **Manual de saneamento**: 4°. ed. Rio de Janeiro: FUNASA (Fundação Nacional da Saúde), 2015. 648 p.

COSTA, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas - Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP**. 2011.

154 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

COSIN, Shirley et al. Estudo e caracterização de lodo de estação de tratamento de água visando sua utilização na produção de materiais cerâmicos. In: Congresso brasileiro de ciência e tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável, 2004. **Anais**. Florianópolis Sc: Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, 2004. p. 2513 - 2523.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 3. ed., Vol 2. São Carlos: Rima, 2017.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D.; VOLTAN, P.E.N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDiBe, 2012.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D.; VOLTAN, P.E.N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe, 2011.

GIORI, N. J. A. **Influência da variabilidade composicional dos resíduos de rochas ornamentais em propriedades físicas e microestruturais de cerâmica vermelha**. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, na área de Especialização em Materiais, Bioprocessos e Meio Ambiente – Universidade Federal do Espírito Santo). Alegre-Espírito, p. 66. 2018.

GONÇALVES *et al*, Incremento de Lodo de Eta em Barreiras Impermeabilizantes de Aterro. Incremento de lodo de eta em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista Dae**,1, p.1-14, 2017.

HOPPEN, Cinthya et al. Estudo de dosagem para incorporação do lodo de eta em matriz de concreto, como forma de disposição final. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 23., 2005, Campo Grande/ms. **Anais**. Campo Grande/ms: Abes - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. p. 1 - 9.

HOPPEN, Cinthya et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. **Química nova**, Curitiba - Pr, v. 29, n. 1, p.79-84, jan. 2006.

KAGGAWA, R.C.;MULALELO, C.I; DENNY, P; OKURU, T.O. The impacto f alum discharges on a natural tropical weland in Uganda. **Water Reserch**. Vol.38, n.3, p 795-807. 2001

KELM, Tamile Antunes. **Avaliação do uso de lodo de estação de tratamento de esgoto na estabilização de materiais para pavimentação.** 2014. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Coppe, Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

KURODA, Emília Kiyomi et al. Drenagem / secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil. **Revista Dae**, p.24-34, abr. 2014.

LUCENA, L. C. et al. Characterization and Evaluation of the Potential Use of Sludge from Stp and Wtp in Paving / Caracterização E Avaliação Do Potencial De Uso De Lodo De Ete E Eta Em Pavimentação. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], n. 1, p. 166, 2016.

LUCENA, Lêda Christiane Lopes et al. Monitoramento de parâmetros físicos e ambientais de camadas de solo estabilizadas com lodo de eta e de ete. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (pr), v. 10, n. 3, p.873-890, set. 2017.

LIMA, Ricardo Mateus de. **Desaguamento do lodo da estação de tratamento de água (eta) 006 da cidade de palmas-to, por meio de polímeros e filtração em geotêxtil.** 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional Engenharia Ambiental,, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Ppgea, Universidade Federal do Tocantins, Palmas -To, 2016.

LIMA, F. C. D. **Uso de agregados de rochas calcárias para camadas de pavimentos estabilizadas granulometricamente.** Disertação ( Dissertação de engenharia civil e ambiental). João Pessoa -PB, p. 99. 2017.

PINHEIRO, Bruno Carlos Alves; ESTEVÃO, Gustavo Matias; SOUZA, Débora Pinto. Waterworks waste (sludge) of the Leopoldina, MG, region aiming its use in the red ceramic industry. Part I: characterization of the sludge. **Revista Matéria**, v. 19, n. 3, p.204-211, maio 2014.

MACHADO , F. M. et al. Addition of a polymeric association to a clayey-sandy-silty soil aiming to reach the chemical stabilization for use as pavent materials. **Revista Materia**, Aracaju-SE, v. 22, n. 3, p. 13, 2

MACIEL, Patricia Rocha; MACHADO, Lygia Ravanelli. Alternativas para a utilização de lodo das estações de tratamento de água (ETA) como agregado na construção civil. **Revista Oswaldo Cruz**, v. 4, n. 1, p.15-22, mar. 2014.

MASSCHELEIN, Willy J. **Unit processes in Drinking Water Treatment.** New York. Marcel Dekker, inc. EUA, 1992. 636p.

MACHADO, Amanda Ozório; ARAÚJO, Joice Andrade de. Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostospor Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA

EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2014, Resende -rj. **Simpósio**. Resende -RJ: Aedb, 2014. p. 1 - 13.

MELLO, Victor Fernandes Bezerra et al. Variáveis no processo de coagulação /floculação/decantação de lixiviados de aterros sanitários urbanos. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 7, n. 1, p.88-100. 2012.

MENDES, Yuri Cardoso. **Evolução da distribuição do tamanho de partículas na floculação de água de baixa turbidez**. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2017.

MORUZZI, Rodrigo Braga. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo -sp, v. 4, n. 1, p.29-43, abr. 2012.

PEREIRA, Maurício Gomes. **ARTIGOS CIENTÍFICOS: Como Redigir, Publicar e Avaliar**. 1º. ed. Brasília: Gen, 2018. 383 p.

Pinto, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos. 2000.

PORRAS, Álvaro Chávez; ISAAC, Rucardo de Lima; MORITA, Dione. Use of dry sludge from a treatment water plant station and aggregated recycled from civil construction in the manufacture of cement soil bricks. **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, Bogotá, v. 18, n. 2, p.5-28, dez. 2008.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento / Influence of the incorporation of water treatment plant (WTP) sludge on the technological properties of soil-cement bricks. **Cerâmica**, [s. l.], n. 352, p. 551, 2013.

SANDES, V. D.S. **Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana**.2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade estadual de Feira de Santana - Feira de Santana, 2008.

SANTOS, F. C. D.; CASTRO, L. D.; GONÇALVES,. Production of self-compacting concrete;Produção de concreto autoadensável. **Revista materia**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 1-15, 2018.

SANTOS, J. R., VIEIRA M.N. Use of mandacaru (cereus jamacaru) as a natural coagulant for water treatment; uso do mandacaru (cereus jamacaru) como coagulante natural para o tratamento de água. **Periódico Tchê Química**, v. 16, n. 31, p. 27–37, 2019.

SANTOS, S. S. A; CAMPOS, V.P Utilização de Resíduo Sólido de Estação de Tratamento de Água (lodo), como Matéria Prima para Confecção de Elementos da Construção Civil. **Rev. Virtual Quim**, Bahia, v. 10, n. 2, p.15-30, abr. 2018.

SANTOS, G. Z. B. et al. Proposta de uma cerâmica obtida por meio de geopolimerização de lodo de ETA calcinado. **Cerâmica**, São Paulo -sp, v. 64, n. 370, p.276-283, jun. 2018

SANTOS, Eduarda Fração et al. Relação entre o teor de lodo de eta e parâmetros de compactação em misturas com solo siltoso da região de Santa Maria-RS. In: X Seminário de engenharia geotécnica do rio grande do sul GEORS 2019, Santa Maria Rs. **Seminário**. Santa Maria Rs: Ufsm, 2019. p. 1 - 9.

SILVA, D. M.; SILVA, J. D.; QUEIROZ,. Analysis of Chemical Stabilization of Silty Soil A-4 Porto Velho-RO;Análise de Estabilização Química de Solo Siltoso A-4 de Porto VelhoRO. **Engineering and Science**, Mato Grosso, v. 2, n. 4, p. 13-22, 2015

SILVA JÚNIOR, I. R. da; ALVES, L. da S. F.; PINTO FILHO, J. L. de O. **Water as a public social welfare: the privatization processes in the face of public supply in Pau dos Ferros-RN ; El agua como un bien social público: los procedimientos de privatización frente al abastecimiento público en Pau dos Ferros- RN ; Água como um bem social público: os processos de privatização face ao abastecimento público em Pau dos Ferros- RN.** [s. l.], 2018.

SILVEIRA , L.R.D. M. et al. Low cost filters for turbidity removal: applications on a synthetic and on the “Ribeirão Descoberto” river samples; Filtros de baixo custo para a remoção de turbidez: uma aplicação em amostra sintética e do manancial Ribeirão Descoberto. **Engineering and Science**, , v. 1, n. 8, p. 15–24, 2019

SILVA JR., A. P.; ISAAC, R. L. **Adensamento por gravidade de lodo de ETA gerado em decantador convencional e decantador laminar.** In: congresso interamericano de ingenieria sanitaria y ambiental, xxviii, Cancún, México, 2002.

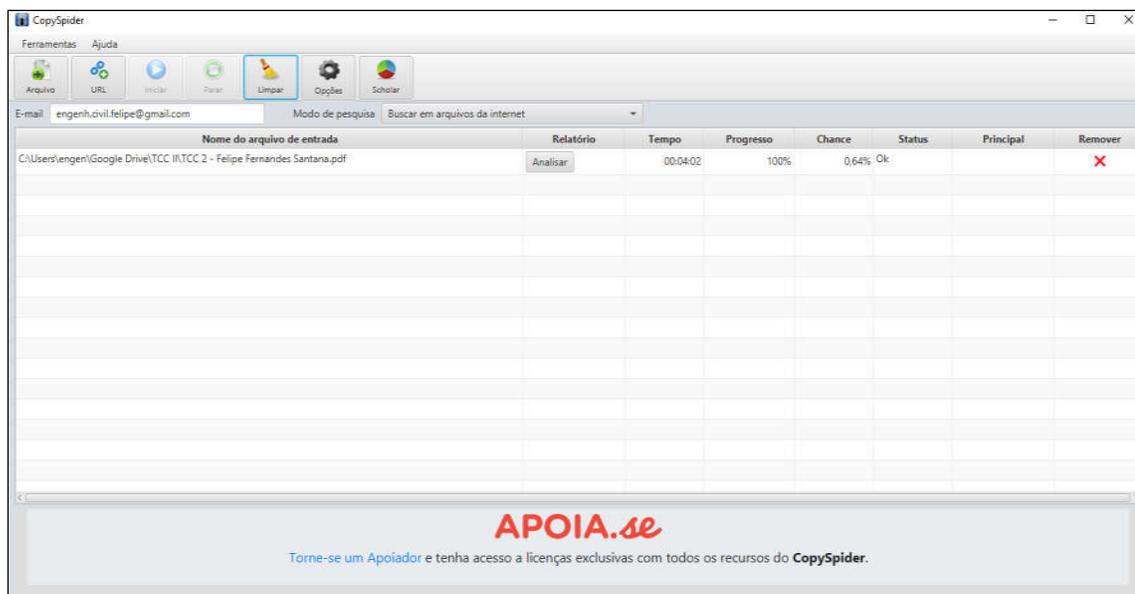
SOUZA, Thiago Magalhães Moraes de; ALMEIDA FILHO, Aldecy de. Caracterização Físico-Química do Resíduo (Lodo) de ETA, no período seca, em Várzea Grande - MT: Waste's (Sludge's) WTS Physicochemical Characterization, in th season, in Várzea Grande – Mato Grosso. **E&s - Engineering And Science**, 1, v. 1, n. 6, p.74-85, jan. 2017.

TARTARI, R. et al. 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**, 123, v. 5, n. 1, p.288-293, 2011.

VERAS, Luciana Rodrigues Valadares; BERNARDO, Luiz di. **Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas - fime: water treatment by multistage filtration systems - MSF**. Eng. Sanit. Ambient., São Carlos-SP, v. 13, n. 1, p.109-116, março 2008.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Minas Gerais: Ufmg, 2019. 238 p.

## ANEXO 1



Documentos candidatos				
<a href="#">politecnica.pucrs.br...</a>	[0,64%]			
<a href="#">researchgate.net/pub...</a>	[0,6%]			
<a href="#">dvl.ccn.ufsc.br/cong...</a>	[0,59%]			
<a href="#">graduacao.unipam.edu...</a>	[0,38%]			
<a href="#">professor.pucgoias.e...</a>	[0,18%]			
<a href="#">superprof.com.br/eng...</a>	[0,12%]			
<a href="#">ufrgs.br/saepro/saep...</a>	[0,11%]			
<a href="#">unifev.edu.br/curso/...</a>	[0,07%]			
<a href="#">solucoeparacidades....</a>	[0,06%]			
<a href="#">pt.scribd.com/docume...</a>	[0,02%]			

Arquivo de entrada: TCC 2 - Felipe Fernandes Santana.pdf (10048 termos)				
Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
<a href="#">politecnica.pucrs.br...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	4790	95	0,64
<a href="#">researchgate.net/pub...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	4643	89	0,6
<a href="#">dvl.ccn.ufsc.br/cong...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	4825	88	0,59
<a href="#">graduacao.unipam.edu...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	2202	47	0,38
<a href="#">professor.pucgoias.e...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	817	20	0,18
<a href="#">superprof.com.br/eng...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	855	14	0,12
<a href="#">ufrgs.br/saepro/saep...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	760	12	0,11
<a href="#">unifev.edu.br/curso/...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	506	8	0,07
<a href="#">solucoeparacidades....</a>	<a href="#">Visualizar</a>	153	7	0,06
<a href="#">pt.scribd.com/docume...</a>	<a href="#">Visualizar</a>	202	3	0,02