



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**ENGENHARIA AMBIENTAL**

**PEDRO HENRIQUE VIEIRA FREIRES**

**LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E DE OPERAÇÃO DO  
USO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE REJEITOS GERADOS EM ETAs NO  
CEARÁ POR MEIO DO CAPEX E DO OPEX**

**FORTALEZA**  
**2023**

**PEDRO HENRIQUE VIEIRA FREIRES**

**LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E DE OPERAÇÃO DO  
USO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE REJEITOS GERADOS EM ETAs NO  
CEARÁ POR MEIO DO CAPEX E DO OPEX**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Capelo Neto.

**FORTALEZA  
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F933I Freires, Pedro Henrique Vieira.  
Levantamento e análise de custos de construção e de operação do uso de estações de tratamento de rejeitos gerados em ETAs no Ceará por meio do CAPEX e do OPEX / Pedro Henrique Vieira Freires. – 2023.  
37 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. José Capelo Neto.
1. Resíduos de ETA. 2. ETRG. 3. Custos. I. Título.

CDD 628

---

**PEDRO HENRIQUE VIEIRA FREIRES**

**LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E DE OPERAÇÃO DO  
USO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE REJEITOS GERADOS EM ETAs NO  
CEARÁ POR MEIO DO CAPEX E DO OPEX**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Capelo Neto.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. José Capelo Neto (Orientador)**  
**(DEHA/UFC)**

---

**Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Junior**  
**(DEHA/UFC)**

---

**Profª. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes**  
**(DEHA/UFC)**

## RESUMO

O descarte indevido de resíduos proveniente de Estações de Tratamento de Água (ETA), no estado do Ceará, é um grande problema tendo em vista se tratar de um estado localizado no semiárido brasileiro e que frequentemente enfrenta escassez hídrica. Os produtos usados no tratamento da água, quando são lançados indiscriminadamente em um recurso hídrico sem um prévio tratamento, podem poluir essas águas e comprometer a saúde da biota que vive nesse corpo aquático ou até de pessoas ou animais que consumem essa água. Há leis e normas brasileiras que proíbem o descarte de resíduos de ETAs em um recurso hídrico sem um prévio tratamento, sendo tal ação classificada como um crime ambiental. Com o fim de atenuar essa problemática e atender as normas ambientais, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) dispõe de Estações de Tratamento de Rejeitos Gerados (ETRGs) a fim de tratar o resíduo proveniente de ETAs e propor uma destinação adequada dos mesmos. O objetivo desse trabalho é fazer um levantamento de custos de Construção e de Operação das ETRGs que serão implantadas no Ceará pela CAGECE. Para tal, foram usados o CAPEX e o OPEX como ferramentas de levantamento dos custos. O que foi observado é que a cada  $m^3/h$  de vazão de uma ETA do interior há um custo aproximado de R\$ 5.570,00 para a construção de uma ETRG e para uma da capital é de R\$ 3.472,22 a cada  $m^3/h$ . Já a média de custo operacional mensal das ETRGs do interior é de R\$ 14.317,00, o que representa R\$ 171.804 ao ano de OPEX anual com cada ETRG. Portanto, o custo dessa estratégia para atenuar o problema em questão é elevado, porém necessário. O que evidencia a importância de realizar novos estudos sobre o tema a fim de se alcançar uma nova estratégia economicamente mais viável.

**Palavra chave:** Resíduos de ETA, ETRG, Custos.

## ABSTRACT

The improper disposal of waste from ETAs Water Treatment Plants, in the state of Ceará, is a major problem considering that it is a state located in the Brazilian semi-arid region and which frequently faces water shortages. Products used in water treatment, when they are released indiscriminately into a water resource without prior treatment, can pollute these waters and compromise the health of the biota that lives in this aquatic body or even people or animals that consume this water. There are Brazilian laws and regulations that prohibit the disposal of ETA waste into a water resource without prior treatment, and such action is classified as an environmental crime. In order to mitigate this problem and meet environmental standards, the Ceará Water and Sewage Company (CAGECE) has Generated Waste Treatment Stations (ETRGs) in order to treat waste from ETAs and propose an adequate destination of waste. same. The objective of this work is to survey the Construction and Operation costs of the ETRGs that will be implemented in Ceará by CAGECE. To this end, CAPEX and OPEX were used as cost survey tools. What was observed is that for each m<sup>3</sup>/h of flow from a WTP in the interior there is an approximate cost of R\$ 5,570.00 for the construction of an ETRG and for one in the capital it is R\$ 3,472.22 for each m<sup>3</sup>/ H. The average monthly operating cost of ETRGs in the interior is R\$ 14,317.00, which represents R\$ 171,804 per year of annual OPEX with each ETRG. Therefore, the cost of this strategy to mitigate the problem in question is high, but necessary. This highlights the importance of carrying out new studies on the topic in order to achieve a new, more economically viable strategy.

**Keyword** : Waste from ETA, ETRG, Costs.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacias da CAGECE no estado do Ceará. ....	21
Figura 2 - - Fluxograma ETRG Leito Drenante .....	25
Figura 3 - Configuração da ETRG com Decantadores.....	26
Figura 4 - Mapa de Localização de Aterros para Deposição de Lodo .....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Perdas de Água no Brasil .....	15
Tabela 2 - Orçamento das 4 ETRG projetadas .....	23
Tabela 3 – Relação (Custo R\$ / Vazão m <sup>3</sup> /h ).....	27
Tabela 4- CAPEX das ETAS do Interior .....	28
Tabela 5 - Cálculo do Erro da Estimativa do CAPEX .....	30
Tabela 6 - OPEX mensal de cada ETA .....	30
Tabela 7 – Somatório de OPEX das ETRGs do Interior.....	32
Tabela 8 - CAPEX da Capital.....	33
Tabela 9 - Custo Operacional Mensal da ETRG Capital .....	33

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - OPEX das ETRGs do Interior.....	32
Gráfico 2 - OPEX Capital (Flotador ETA Gavião).....	34
Gráfico 3 - OPEX Capital (Decantador ETA Gavião).....	35
Gráfico 4 - OPEX Capital (Decantador ETA Oeste) .....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> (Despesas de Capital)
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETRG	Estação de Tratamento de Rejeitos Gerados
OPEX	<i>Operational Expenditure</i> (Despesas Operacionais)
RASO	Relatório Analítico da Situação Operacional
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SST	Sólidos Suspensos Totais
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
3.1	Consumo e Escassez Hídrica de Água	15
3.2	Disposição de Resíduos proveniente das ETAs	15
3.3	Tecnologias de Tratamento de Lodo de ETAs	17
3.3.1	Leito Drenante	17
3.3.2	Decantadores	17
3.3.3	Flotadores	18
3.4	Destinação do Lodo de ETA	18
3.4.1	Padrão para Lançamento do Efluentes de Lavagem de Filtros	19
3.4.2	Uso na Construção Civil	19
3.4.3	Uso em aplicações no solo	20
3.4.4	Disposição em Aterros Sanitários	20
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
4.1	Área de Estudo	21
4.2	Análises dos Dados	22
4.3	Cálculo do CAPEX	22
4.3.1	Estimativa do CAPEX por Vazão (m <sup>3</sup> /h) da ETA	22
4.4	Cálculo do OPEX	23
4.4.1	Custo com Produtos Químicos	23
4.4.2	Custo da Disposição de Lodo	24
4.4.3	Custos com Operadores	24
4.4.4	Custos Elétricos	24
4.4.5	Custos de Manutenção	24
4.5	Configuração da ETRG Leito Drenante	24
4.6	Configuração da ETRG com Decantadores	25
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>27</b>
5.1	CAPEX Interior	27
5.1.1	Análise da Estimativa do CAPEX	29
5.2	OPEX Interior	30
5.3	CAPEX Capital	33
5.4	OPEX Capital	33
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará, inserido no semiárido do Nordeste brasileiro, teve a evolução da Política de Recursos Hídricos influenciada diretamente pelos ciclos de seca. A Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH), órgão da administração direta do Estado, foi criada pela Lei Nº 11.306, de 01 de Abril de 1987 (Secretaria de Recursos Hídricos, 2023). O estado foi o primeiro do Brasil a criar uma Secretaria de Recursos Hídricos a fim de implementar uma política pública de água com intuito de racionalizar seu consumo. Entretanto, apesar do pioneirismo no abastecimento mais eficiente, o estado ainda enfrenta crises hídricas, o que aponta para uma necessidade urgente de uma política de reuso de água no estado e de conservação dos recursos hídricos.

A CAGECE é a responsável por abastecer 152 municípios do Ceará. Para tanto, dispõe de 160 ETAs que são o meio de oferecer água dentro dos padrões de potabilidade da PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 à população cearense, que somam 5 milhões de clientes a empresa. A grande maioria dessas ETAs operam com a tecnologia de tratamento filtração direta em fluxo ascendente e/ou Descendente e utilizam o Cloreto de Polialumínio (PAC 23) como coagulante e os polímeros como auxiliares de coagulação na etapa de mistura rápida (CAGECE, 2023).

O grande desafio da filtração direta é a geração de resíduos. Eles são principalmente provenientes da água de lavagem dos filtros, do lodo formado nos decantadores e dos rejeitos oriundos da lavagem de tanques com produtos químicos (SOUZA, 1999). Segundo Olinger *et al.*(2001) muitas das ETAs brasileiras descarta os resíduos provenientes da lavagem dos filtros e da descarga dos decantadores em cursos de água, (MOLINA *et al.*,2010).

O lançamento dos resíduos gerados pelas ETAs em corpos d'água pode ser considerado crime ambiental, de acordo com o artigo 54 da Lei 9.605/98, devido aos efeitos diretos causados ao ambiente aquático do corpo receptor e danos à fauna aquática. Segundo a Resolução da Superintendência Estadual do Meio Ambiente ( SEMACE) nº 02, Art. 14, de 02 de fevereiro de 2017, do Estado do Ceará, os efluentes de Lavagem de filtro de ETAs que passarem por desidratação, deverão receber o tratamento e disposição/destinação adequada do resíduo, conforme estabelecido pelo órgão ambiental competente (COEMA, 2017). Abaixo, pode-se conferir as condições de lançamento:

RESOLUÇÃO COEMA Nº02, de 02 de fevereiro de 2017:

Art.14. Os efluentes advindos de lavagem de filtro de Estações

de Tratamento de Água - ETA deverão obedecer as seguintes condições e padrões de lançamento:

- I - pH entre 6 e 9,5;
- II - temperatura: inferior a 40° C;
- III - sólidos em suspensão totais: até 100mg/L;
- IV – sólidos sedimentáveis: até 1mL/L;
- V - alumínio total: até 10 mg/L;
- VI – DQO: até 200mg/L; e
- VII – materiais flutuantes: ausente

Para atender essas regulamentações, a CAGECE conta com ETRGs em algumas ETAS e possui projetos para implantação de outras unidades. Essas estações são responsáveis por tratar os resíduos provenientes das águas de lavagem de filtros, reduzindo o consumo de água nas ETAs, minimizando a geração de efluentes e destinando corretamente os resíduos sólidos. O Efluente recuperado é clarificado, tratado e recirculado a montante do tratamento ou devidamente despejado no corpo hídrico mais próximo, o que possibilita o reuso da água e uma melhor eficiência na ETA. Para Chaves et al. (2012) na tentativa de minimizar perdas é imprescindível o estudo que trata do retorno da água de lavagem dos filtros para o processo de tratamento da água, quando isto acontece a estação de tratamento de água começa a trabalhar com perdas mínimas e aumenta a sua eficiência em termos de volume produzido (CHAVES, 2012).

A tecnologia de ETRG usada pela CAGECE que será abordada nesse trabalho é a de Leito Drenante para unidades do interior e de Decantadores ou de Flotadores para a ETA Gavião e Decantadores para a ETA Oeste.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo desse trabalho é realizar um levantamento de custos de Construção e de Operação das ETRGs que serão implantadas no Ceará pela CAGECE por meio do CAPEX e do OPEX.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Encontrar um método de estimar o CAPEX de uma ETRG somente com o dado de vazão de uma ETA.

Observar no levantamento de custos qual tecnologia é economicamente mais viável para a ETA Gavião, se Flotadores ou decantadores.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Consumo e Escassez Hídrica de Água

A água há milênios, é reconhecida como sendo uma substância vital que está presente na natureza, e é parte constituinte fundamental para a conservação dos ecossistemas e da vida de todos os seres em nosso planeta. A estrutura e as funções de um ambiente são determinantes para a sobrevivência de plantas, animais e demais seres vivos (WOLKMER, PIMMEL, 2013)

Estima-se que três em cada dez habitantes do mundo (2,1 bilhões) não tenha acesso à água potável em casa. Isso inclui 263 milhões de pessoas que gastam cerca 30 minutos por dia para coletar água de fontes distantes, e 159 milhões que ainda bebem água não tratada de fontes de água superficiais (WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND, 2017).

Essa realidade mundial também pode ser observada no Brasil, pois, apesar da disponibilidade hídrica brasileira, sua distribuição pelo território é desigual: 81% estão concentrados na Região Hidrográfica Amazônica, onde vivem 5% da população brasileira. Já a região costeira, que concentra 45,5% da população, detém apenas 2,7% desse recurso (AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUA, 2013). Segundo os dados da Agência Nacional das Águas (ANA), no período entre 2013-2016 foram registrados 4.824 eventos de seca, afetando 48 milhões de pessoas (ALVES, 2018).

De acordo com dados do SNIS, ano base de 2020, além dos 35 milhões de pessoas sem acesso à água potável, o país perde 40,1% de toda água potável captada nos sistemas de distribuição (Trata Brasil, 2021). O ano de 2020 bem como os anos anteriores podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Índice de Perdas de Água no Brasil

Índice de Perdas de Distribuição (%)			
2017	2018	2019	2020
38,3	38,5	39,2	40,1

Fonte: adaptado de (Trata Brasil, 2023).

#### 3.2 Disposição de Resíduos proveniente das ETAs

Para Gheyi et al. (2012), a crise na disponibilidade de água, em termos quantitativos e qualitativos, é consequência do mundo em mudança, no qual o crescimento populacional e a poluição ambiental têm andado juntos. A quantidade e a qualidade da água são influenciadas por diversos fatores, tais como: clima, geografia, topografia, geologia e,

principalmente, pelas atividades humanas. Os efeitos adversos que as atividades antrópicas têm exercido sobre os mananciais de abastecimento impõem ameaças à saúde humana, exigindo o uso de tecnologias de tratamento de água e dos resíduos líquidos e sólidos oriundos desse tratamento. (SOBRINHO, 2019).

Do ponto de vista do abastecimento de água, o uso de tecnologias mais específicas e com maior eficiência no tratamento, como a coagulação, geralmente está associado ao maior consumo de produtos químicos, gerando um maior volume de resíduos, constituídos por sólidos e precipitados químicos, que compõem uma massa de partículas orgânicas e inorgânicas, densa e viscosa, denominada lodo de estação de tratamento de água (ETA) (SILVA et al., 2012).

De acordo com estudos realizados por Guerra e Angelis (2005), o lodo proveniente dos decantadores da ETA II e ETA Capim Fino, segundo a norma ABNT NBR 10.004, são classificados como um resíduo Classe IIA (não perigoso-não inerte). (SILVA, 2012).

Na Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estão estabelecidas as diretrizes nacionais para o manejo adequado desse lodo, com vistas à proteção da saúde pública e do meio ambiente (BRASIL, 2007). Nesse contexto, destacam-se a produção, o tratamento e a disposição adequada dos lodos gerados nas ETAs, problemática que afeta todo o Brasil e, principalmente, as regiões norte e nordeste. Segundo Achon, Barroso e Cordeiro (2013), a disposição inadequada desses resíduos contraria a legislação vigente, pois provoca impactos ambientais negativos (SOBRINHO, 2019).

As Estações de Tratamento de Água geram quantidades expressivas de resíduos, sendo as maiores fontes as águas de descarga dos decantadores (ADD) e águas de lavagem de filtros (ALF). Segundo Olinger et al.(2001) a grande maioria as ETAs brasileiras descarta os resíduos provenientes da lavagem dos filtros e descarga dos decantadores em cursos de água, (MOLINA et al.,2010)

Além dos prejuízos ao corpo de água, os despejos de uma ETA podem ocasionar danos à saúde humana, devido à ocorrência de agentes patogênicos (SCALIZE, 1997) e metais pesados (BARROSO;CORDEIRO, 2001).

Em ambientes hídricos, o lodo pode tornar disponíveis íons de Al, que podem vir a comprometer a saúde humana. Pesquisas apontam que portadores da doença de Alzheimer apresentam elevada quantidade de Al no cérebro, corroborando a ideia de que níveis elevados de Al podem estar associados a doenças neurológicas, por interferir em diversos processos degenerativos neurofisiológicos (BONDY, 2016).

### **3.3 Tecnologias de Tratamento de Lodo de ETAs**

#### **3.3.1 Leito Drenante**

Os estudos evoluíram e no PROSAB 2 Tema 4 (Cordeiro, 2001) foi desenvolvida a proposta de um leito modificado 2, onde a areia foi removida e o leito constituído de uma camada de brita 01 com 5 cm e sobre ela manta geotêxtil. O tempo de drenagem da água livre diminuiu bruscamente com o novo arranjo (modificado 2), recebendo a denominação de Leito de Drenagem. (ACHON, 2008)

No Leito de Drenagem, o tempo de remoção de água constituiu-se na somatória do tempo de drenagem e de evaporação da água, assim, tanto as condições de drenagem quanto às condições climáticas têm devido importância. Após a drenagem da água livre, a secagem da massa de lodo ocorre por meio da evaporação, e as variáveis climáticas, tais como, umidade relativa do ar, ventilação pode ser de suma importância para o melhor desempenho de desaguamento. (ACHON, 2008)

Neste estudo foi observado que nas lagoas de lodo, a remoção de água presente no lodo realizava-se com dificuldade em virtude de sua concepção, levando semanas e até meses para a secagem do lodo. Já nos leitos de drenagem verificaram-se reduções de 75 a 85% do volume em sete dias. Os resultados obtidos com a caracterização do drenado apresentaram baixos valores de cor, turbidez e elevada redução da concentração de sólidos. (ACHON, 2008)

Uma solução para o lodo seria sua disposição em aterros. No entanto, o volume é elevado e os custos de disposição e transporte também. Assim, a redução de seu volume, através da drenagem da água livre e secagem, torna-se desejável. (ACHON, 2008)

#### **3.3.2 Decantadores**

Decantadores de alta taxa são providos de elementos tubulares para direcionar o fluxo de água floculada, resultando em uma trajetória mais regular, exigindo assim, um menor tempo para a sedimentação. A água floculada entra na parte inferior no tanque, escoar no sentido vertical e é coletada na superfície (NETO, 1991). O decantador de alta taxa apresentará rendimentos superiores, em termos de qualidade de água decantada, quando comparado com o sistema convencional.

No decantador de alta taxa, devido ao seu arranjo hidráulico, é possível promover a retirada do lodo decantado de uma forma mais gradativa, de acordo com a necessidade operacional da ETA. Este procedimento é denominado de descarga do decantador, sendo

possível obter lodo com concentrações de sólidos de diferentes valores. De acordo com RICHTER (2009), é alta a concentração de sólidos no lodo dos decantadores convencionais, ao passo que nas unidades de remoção contínua de lodo, que é o caso do decantador de alta taxa, estes valores são menores e podem se aproximar dos valores típicos da água de lavagem dos filtros de ETA.

### **3.3.3 Flotadores**

Ao contrário da sedimentação, o processo de flotação por ar dissolvido se caracteriza pela ascensão das partículas suspensas pela aderência de microbolhas de ar às mesmas, tornando-as de menor massa específica que o meio de onde se encontram, e conseqüentemente promovendo a separação trifásica, acumulando-se na superfície do líquido ( Di Bernardo et al.,2002).

O processo de flotação por ar dissolvido pode ter maiores benefícios em relação ao de sedimentação. Segundo *Shan-Pei et al.(2007)*, o processo de flotação apresenta maior eficiência na remoção de turbidez, carbono orgânico total, algas e bactérias, com valores de 95%,30%,94% e 97% respectivamente, resultando em 5 a 40 % a mais na remoção dos índices analisados do que o processo de sedimentação. *Joketa et al. (2001)* conseguiram a remoção de 70 a 90% de fósforo do efluente de cultivo de trutas com a utilização de flotadores de ar dissolvido em fazendas comerciais na Finlândia.

## **3.4 Destinação do Lodo de ETA**

Atualmente, um dos desafios para as empresas de saneamento é a adoção de alternativas adequadas para a destinação final do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água (ETA) sob os aspectos: econômico, técnico e ambiental. Este resíduo sólido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DENORMAS TÉCNICAS, 2004) é gerado no processo de transformação da água bruta, captada principalmente em rios e reservatórios, em água potável para consumo humano (BITTENCOURT, 2012).

O potencial tóxico do lodo de ETA depende principalmente do teor de metais presentes, além das características físico-químicas e das condições em que estes resíduos são dispostos [13]. Outros fatores que também influenciam a toxicidade são as reações sofridas durante o processo, forma e tempo de retenção, características do curso d'água, composição e impureza dos coagulantes e outros produtos químicos utilizados no tratamento da água (Barroso e Cordeiro, 2001).

A seguir, será apresentado o padrão de lançamento de efluentes de ETA, bem como os possíveis usos do lodo descartado na ETA.

### **3.4.1 Padrão para Lançamento do Efluentes de Lavagem de Filtros**

#### **3.4.1.1 Padrão Federal**

A Resolução CONAMA Nº 430/2011 estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Parágrafo único. O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

#### **3.4.1.2 Padrão Estadual**

A legislação estadual para lançamento de Efluentes é a COEMA Nº 2, Art. 14, descrita abaixo:

RESOLUÇÃO COEMA Nº02, de 02 de fevereiro de 2017:

Art.14. Os efluentes advindos de lavagem de filtro de Estações de Tratamento de Água - ETA deverão obedecer as seguintes condições e padrões de lançamento:

- I - pH entre 6 e 9,5;
- II - temperatura: inferior a 40° C;
- III - sólidos em suspensão totais: até 100mg/L;
- IV – sólidos sedimentáveis: até 1mL/L;
- V - alumínio total: até 10 mg/L;
- VI – DQO: até 200mg/L; e
- VII – materiais flutuantes: ausente

### **3.4.2 Uso na Construção Civil**

Empresas de saneamento, como por exemplo, a SABESP está desenvolvendo um projeto para utilização do lodo incorporado ao material cerâmico, para uso na construção civil [15]. A incorporação do lodo centrifugado da ETA Passaúna, localizada em Curitiba, que usa sulfato de alumínio é interessante para produção de concreto, não interferindo na sua qualidade [8]. Segundo Hoppen et al.(2003) [16], a mistura de 3% de lodo no concreto pode ser utilizada em fabricação de artefatos, estruturas pré-moldadas e construção de

pavimentos em concreto. Ensaios de compressão foram efetuados com sucesso por aqueles autores. Estudos realizados na Região Metropolitana de Campinas numa proposta de gestão de aproveitamento de resíduos de lodos de ETA, em co-disposição (mistura) 16 com outros compostos de reuso como o entulho, estão voltados para a fabricação de componentes para a construção civil, tipo solo-cimento (tijolos e blocos para vedação e lajotas para pátios) [6] ( SANTOS, 2011).

### **3.4.3 *Uso em aplicações no solo***

De acordo com a AWWA (1995) [4], o lodo de ETAs possui uma característica mais similar aos solos do que se comparado com o lodo de esgoto, pois, em geral, o nitrogênio e o carbono orgânico no lodo de ETAs são mais estáveis, menos reativos e em concentrações mais baixas ( SANTOS, 2011).

Outras aplicações para o lodo de ETAs, e sua disposição no solo promovendo melhoria estrutural, ajuste do pH, aumento de minerais [11], aumento da capacidade de retenção de água e recuperação de solos, em razão da presença de 15 nutrientes. Ele também é usado para o cultivo de gramas, podendo ser aplicado tanto na fase líquida como na fase sólida ou ser aplicado na preparação do solo ou fertirrigação, no crescimento da grama, o que é uma forma de provisão de ferro para o solo [11]. Além disso, usa-se na plantação de cítricos em cultivo com solos com deficiência de ferro, onde o lodo funciona como uma provisão de ferro para o solo mesmo. (SANTOS, 2011).

### **3.4.4 *Disposição em Aterros Sanitários***

Entre as alternativas de disposição final normalmente utilizadas, incluem-se: disposição em aterro sanitário, fabricação de cimento e tijolos, produção de solo comercial e utilização em indústrias cerâmicas ou ser lançado em redes coletoras de esgotos (TSUTIYA & HIRATA, 2001).

Para que uma ETA possa destinar seu lodo em um aterro sanitário é necessário que a mesma tenha unidades de adensamento, desaguamento e secagem do lodo para atingir a concentração necessária de sólidos (JANUÁRIO e FILHO, 2007)

Como possível via de descarte deste resíduo, foi considerada a disposição do lodo de ETA em aterro sanitário, sendo realizados ensaios de biodegradação, afim de averiguar a viabilidade da disposição do lodo de ETA com o solo utilizado na cobertura das células do aterro sanitário do município de Rio Claro, SP (GUERRA, 2005).



## **4.2 Análises dos Dados**

Para a avaliação de Custos das Estações de Tratamento de Rejeitos Gerados foi usado o CAPEX e o OPEX. CAPEX ou “Despesas de Capitais” está relacionado ao capital aplicado pela empresa em bens de capitais ou serviços. São custos para a aquisição de novos maquinários ou serviços a fim de ampliar e/ou melhorar o desempenho de uma empresa no futuro. O OPEX está relacionado a todo o custo para se operacionalizar as atividades a fim de ser alcançado o produto desejado. Nesse trabalho, o CAPEX é a construção das ETRG's e o OPEX é a manutenção e operação das mesmas.

Foi usado um relatório de previsão de custos de 60 ETRG's do interior da tecnologia leito drenante e 2 da capital realizado pela CAGECE. A obtenção de dados foi feita junto a Gerencia de Melhoria Operacional (GEOPE). Foi realizada uma relação entre os dados de vazão de cada ETA fornecidas pela própria CAGECE num documento interno denominado RASO (Relatório de Análise de Situação Operacional) com os dados de previsões de custos contidos no relatório interno da empresa feita pela equipe de orçamento.

## **4.3 Cálculo do CAPEX**

Para o cálculo do CAPEX, foi usado a metodologia da equipe de orçamento da CAGECE. Os custos foram calculados com base na tabela da Seinfra nas seguintes metas: Instalação da obra, o material e o serviço para a construção do leito drenante, o material e o serviço para a construção da estação elevatória de água de reuso, serviços e materiais para a construção das interligações, projeto elétrico, projeto executivo de engenharia e administração local.

### **4.3.1 Estimativa do CAPEX por Vazão ( $m^3/h$ ) da ETA**

Para a estimativa de custos das 60 ETRGs do interior, foram usados 4 projetos de 4 ETRGs que já foram projetadas, são elas: ETA Chaval, ETA Poty, ETA Santa Quitéria, ETA Massapê. Todas essas já possuem orçamentos concluídos pela equipe de orçamento da CAGECE, como pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 2 - Orçamento das 4 ETRG projetadas

<b>Metas Orçamentárias</b>	<b>ETRG Chaval</b>	<b>ETRG Crateús</b>	<b>ETRG Santa Quitéria</b>	<b>ETRG Mas-sapê</b>
	<b>R\$</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$</b>
<b>Construção</b>	<b>770.855,42</b>	<b>1.556.170,37</b>	<b>525.838,44</b>	<b>736.050,03</b>
Instalação da Obra	R\$ 277.226,97	R\$ 386.890,89	R\$ 133.442,79	R\$ 139.110,29
Leito Drenante (Materiais e Serviço)	R\$ 337.091,17	R\$ 998.877,15	R\$ 392.395,65	R\$ 430.001,62
Caixas de Drenagem (Material e Serviço)	-	-	-	-
EE de Água de Reuso (Material e Serviço)	R\$ 128.840,48			R\$ 116.851,90
Interligações (Material e Serviço)	R\$ 27.696,80	R\$ 170.402,33		R\$ 50.086,22
<b>Tratamento</b>	<b>-</b>	<b>R\$ 62.758,10</b>	<b>-</b>	<b>R\$ 62.765,96</b>
Casa Química (Material e Serviço)	-	-	-	R\$ 62.765,96
Conjunto Dosador - (Material e Serviço)	-	R\$ 62.758,10	-	-
<b>Custos Gerais</b>	<b>R\$ 129.682,91</b>	<b>R\$ 212.981,80</b>	<b>R\$ 41.123,90</b>	<b>R\$ 134.294,62</b>
Projeto Elétrico	R\$ 51.192,28	R\$ 56.855,12	-	R\$ 55.151,36
Elaboração de Projetos Executivos de Engenharia	R\$ 18.427,20	R\$ 37.545,42	R\$ 11.900,90	R\$ 19.079,83
Administração Local	R\$ 60.063,43	R\$ 118.581,26	R\$ 29.223,00	R\$ 60.063,43
<b>Total (R\$)</b>	<b>R\$ 900.538,33</b>	<b>R\$ 1.831.910,27</b>	<b>R\$ 566.962,34</b>	<b>R\$ 933.110,61</b>

Fonte: adaptado de ( CAGECE, 2023).

A partir dos dados de CAPEX dessas 4 ETRGs, foi feita uma relação dos valores do CAPEX com a vazão (m<sup>3</sup>/h) dessas quatro ETAs e calculado a média das relações obtidas para se estimar o CAPEX das outras 56 ETRGs.

#### 4.4 Cálculo do OPEX

Para o cálculo do OPEX, foi considerado os custos com Produto Químico, Operadores, Consumo Elétrico, Manutenção e Disposição do lodo.

##### 4.4.1 Custo com Produtos Químicos

O custo com produtos químicos está relacionado com a dosagem de PAC usada, que é o de alumina, na quantidade de 2,5 (mg/l). O custo do PAC é de 25,35 (R\$/kg).

#### **4.4.2 Custo da Disposição de Lodo**

O cálculo da disposição de lodo foi com base na massa de sólido diária (kg/d) gerado em cada ETA, que é calculada em função da vazão (m<sup>3</sup>/h) da ETA e dos produtos químicos usados. Usou-se o SST da Água Bruta de 15 mg/l. A Dosagem de PAC considera foi de 2,5 (mg/L). Adicionado a isso o custo de logística de transporte para um aterro sanitário mais próximo de acordo com o mapeamento da Figura 04. O custo do aterro é de 92 (R\$/ton).

#### **4.4.3 Custos com Operadores**

Os custos com operadores considerando os encargos trabalhistas foi R\$ 3474,00 mensal para da operador. Cada ETA do interior possui um operador e as da capital possuem 3 operadores.

#### **4.4.4 Custos Elétricos**

O custo elétrico foi calculado com base na potência (KVA) utilizada em cada ETA. Foi considerado as unidades do interior com funcionando médio de 12 horas por dia e as da capital funcionando 24 horas por dia. Assim, obteve-se o (KWh) mensal de cada unidade. O fator de potência utilizado foi de 0,92.

#### **4.4.5 Custos de Manutenção**

O custo de manutenção foi adotado o valor de 1 % dos outros custos. Somou-se os custos com: produto químico, disposição, operadores e elétrico e multiplicou-se o resultado por 1%.

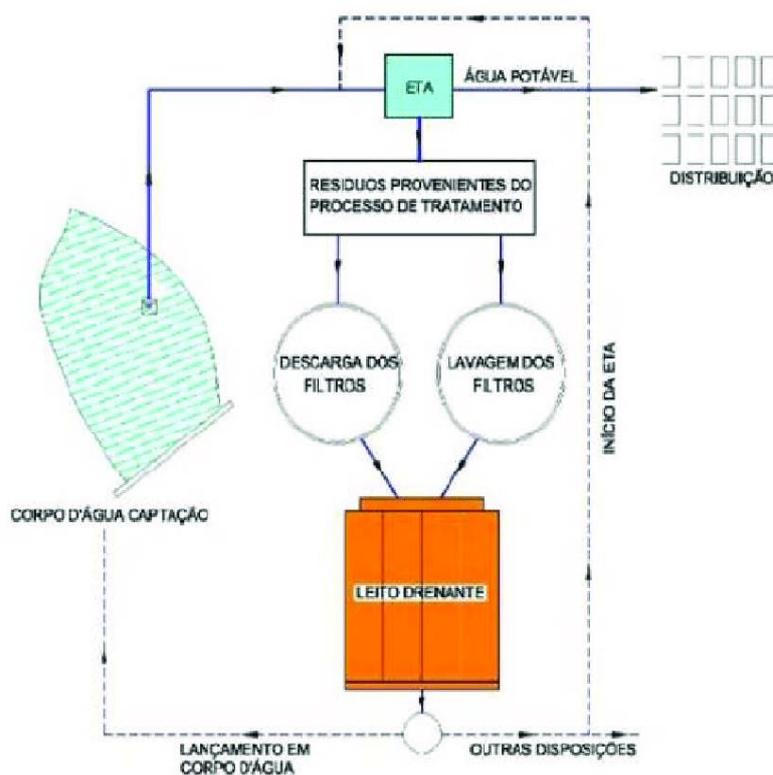
### **4.5 Configuração da ETRG Leito Drenante**

O sistema de tratamento de lodos da ETA será formado por leitos de drenagem, que serão utilizados alternadamente. Os leitos terão o fundo construído com mantas geotêxteis, assentadas sobre camada de brita e terão altura suficiente para que o lodo sedimente durante os intervalos entre as lavagens. As águas de lavagem dos filtros e das descargas de fundo dos filtros ascendentes serão encaminhadas para os leitos de drenagem por gravidade, através de tubulação. A vazão de dimensionamento do canal e da tubulação será igual à vazão necessária para a lavagem de um filtro.

Assim, a Estação de Tratamento de Rejeitos Gerados (ETRG) seguirá, em termos gerais, a configuração descrita na Figura 2. Inicialmente, as águas provenientes da

descarga e da lavagem dos filtros receberão a adição de produto químico na tubulação a montante do leito drenante. Em seguida, essas águas são encaminhadas por gravidade para a unidade do leito drenante, onde uma parte líquida sofrerá o processo de infiltração através da manta geotêxtil (líquido drenado) e outra verterá ao atingir o nível de transição, sendo recolhidas para um tanque de água recuperada. A água recuperada será bombeada para o início da ETA, enquanto o lodo retido na manta será descarregado para uma adequada disposição final. A remoção do lodo deverá ser realizada manualmente de forma periódica. O fluxograma apresentado na Figura 02 mostra a disposição das referidas unidades

Figura 2 - - Fluxograma ETRG Leito Drenante



Fonte: CAGECE (2023)

#### 4.6 Configuração da ETRG com Decantadores

A ETRG com decantadores foi projetada para a ETA Gavião e para a ETA Oeste, que juntas abastecem a cidade de Fortaleza e parte da região metropolitana. É possível notar a configuração dessa ETRG na Figura 03 abaixo.

A água de lavagem dos filtros será encaminhada, por meio dos canais de água de lavagem, aos tanques de regularização de vazão, localizada próximos às baterias de filtros. A partir destes, a vazão regularizada será bombeada para a ETRG em si. A água de

lavagem veiculada será adicionada, então, de polímero para melhoria do processo de adensamento. O clarificado será encaminhado para um tanque de água recuperada e o lodo adensado para um tanque de lodo adensado. A partir do tanque de lodo adensado, o resíduo também terá adição de polímero para melhorar da eficiência do processo de deságue. No sistema de deságue, decantadores centrífugas separarão o lodo afluyente em uma fração desaguada, posta em caminhões para o transporte e disposição ambientalmente correta, e a água clarificada retornará para o tanque de água recuperada. A água recuperada nos adensadores e decantadores será, então, bombeada de volta ao canal de água bruta, na entrada dos filtros da ETA.

Figura 3 - Configuração da ETRG com Decantadores

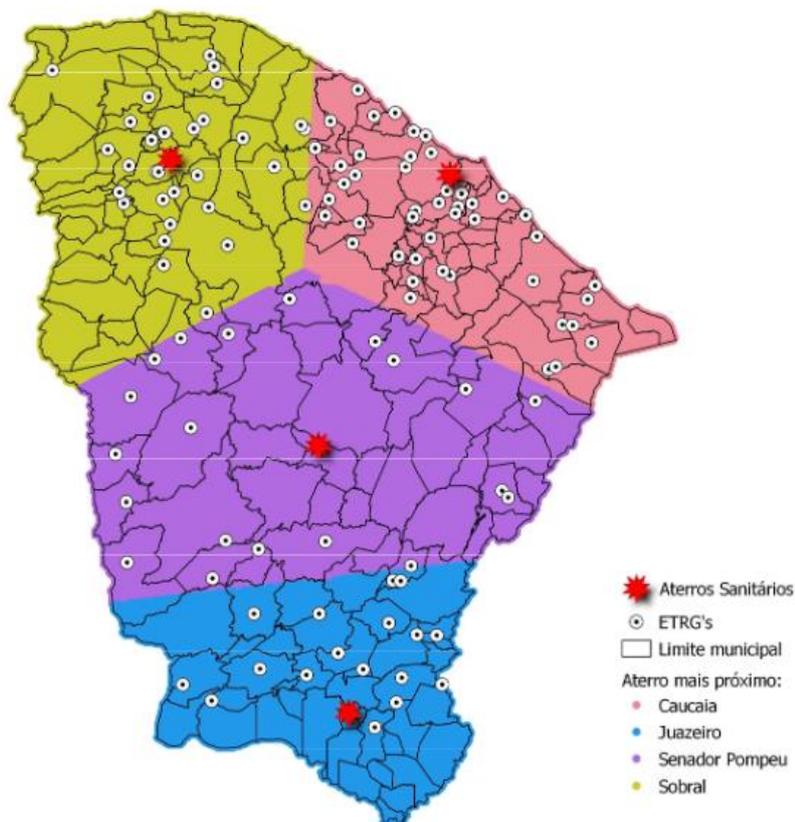


Fonte: CAGECE (2023).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento por regiões para facilitar a disposição de lodos provenientes das ETAs para o aterro sanitário mais próximo da unidade pode ser visto na Figura 04.

Figura 4 - Mapa de Localização de Aterros para Deposição de Lodo



Fonte: CAGECE (2023).

### 5.1 CAPEX Interior

Por meio da relação do CAPEX das quatro ETRGs já projetadas com a vazão das suas respectivas ETAs é possível chegar a um valor de custo ( R\$) por vazão ( $m^3/h$ ). A relação pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 3 – Relação (Custo R\$ / Vazão  $m^3/h$  )

	CAPEX	Vazão ETA ( $m^3/h$ )	Custo /( $m^3/h$ )	Média ( R\$/ $m^3.h^{-1}$ )	Valor Adotado ( R\$/ $m^3.h^{-1}$ )
ETRG Santa Quitéria	R\$ 566.962,34	120	R\$ 4.724,69	5567,78	5.570,00
ETRG Massapê	R\$ 933.110,61	120	R\$ 7.775,92		
ETRG Chaval	R\$ 900.538,33	158	R\$ 5.699,61		

<b>ETRG Crateús</b>	R\$ 1.831.910,27	450	R\$ 4.070,91	
---------------------	------------------	-----	--------------	--

Fonte: adaptado de ( CAGECE, 2023).

Foi descoberto um valor para cada ETA e feito uma média aritmética. Esse valor médio foi de R\$ 5.567,78 por m<sup>3</sup>/h e adotou-se R\$ 5.570,00. Esse custo (R\$) por vazão (m<sup>3</sup>/h) foi usado para estimar o CAPEX das outras 56 ETRGs.

De acordo com esse valor de R\$ 5.570,00, foram encontrados o CAPEX das outras ETRGs, como pode ser visto Na Tabela 04.

Tabela 4- CAPEX das ETAS do Interior

<b>ETA</b>	<b>CAPEX</b>	<b>Vazão de Projeto ( m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>ETA JARDIM SÃO JOSÉ</b>	R\$ 250.650,00	45
<b>ETA ITAÍPOCA (1)</b>	R\$ 2.417.380,00	434
<b>ETA02 UBAUNA – COREAU</b>	R\$ 178.240,00	32
<b>ETA ALTANEIRA - ALTANEIRA</b>	R\$ 518.010,00	93
<b>ETA ARACOIABA - ARACOIABA</b>	R\$ 2.629.040,00	472
<b>ETA ASSARE - ASSARE</b>	R\$ 1.169.700,00	210
<b>ETA CAMPOS SALES - CAMPOS SALES</b>	R\$ 802.080,00	144
<b>ETA CARIDADE - CARIDADE</b>	R\$ 278.500,00	50
<b>ETA CARIRÉ</b>	R\$ 389.900,00	70
<b>ETA CARIUS - CARIUS</b>	R\$ 334.200,00	60
<b>ETA CATUNDA - CATUNDA</b>	R\$ 272.930,00	49
<b>ETA GENERAL SAMPAIO - GENERAL SAMPAIO</b>	R\$ 389.900,00	70
<b>ETA GUASSUSSE OROS</b>	R\$ 189.380,00	34
<b>ETA IBICUITINGA - IBICUITINGA</b>	R\$ 668.400,00	120
<b>ETA IDEAL (SI OCARA)</b>	R\$ 685.110,00	123
<b>ETA INDEPENDENCIA - INDEPENDENCIA</b>	R\$ 612.700,00	110
<b>ETA MONSENHOR TABOSA - MONSENHOR TABOSA</b>	R\$ 557.000,00	100
<b>ETA MORRINHOS - MORRINHOS</b>	R\$ 389.900,00	70
<b>ETA NOVO ORIENTE - NOVO ORIENTE</b>	R\$ 1.726.700,00	310
<b>ETA PALESTINA - OROS</b>	R\$ 100.260,00	18
<b>ETA PALHANO - PALHANO</b>	R\$ 557.000,00	100
<b>ETA PARACURU - PARACURU</b>	R\$ 1.503.900,00	270
<b>ETA PARAIPABA - PARAIPABA</b>	R\$ 557.000,00	100
<b>ETA PAVUNA - PACATUBA 0</b>	R\$ 267.360,00	48
<b>ETA PENTECOSTE - PENTECOSTE</b>	R\$ 2.005.200,00	360
<b>ETA POTY</b>	R\$ 3.620.500,00	650
<b>ETA SANTA QUITÉRIA - SANTA QUITÉRIA</b>	R\$ 668.400,00	120
<b>ESTA SANTA QUITÉRIA</b>	R\$ 668.400,00	120
<b>ETA SANTANA DO ACARAU - SANTANA DO ACARAU</b>	R\$ 557.000,00	100
<b>ETA SÃO JOAQUIM - UMIRIM</b>	R\$ 334.200,00	60
<b>ETA SEBASTIAO DE ABREU - PENTECOSTE</b>	R\$ 167.100,00	30
<b>ETA SERRA DO FELIX - BEBERIBE</b>	R\$ 239.510,00	43
<b>ETA SITIO ALEGRE - MORRINHOS</b>	R\$ 389.900,00	70

ETA SIUPE - SÃO GONCALO AMARANTE	R\$ 133.680,00	24
ETA TABULEIRO DO NORTE - TABULEIRO DO NORTE	R\$ 1.002.600,00	180
ETA TAMBORIL - TAMBORIL	R\$ 490.160,00	88
SI CATUANA - SÃO GONCALO DO AMARANTE	R\$ 802.080,00	144
SI GROAIRAS - GROAÍRAS	R\$ 384.330,00	69
SI IPAGUACU - MASSAPE	R\$ 668.400,00	120
SI IRAJA - IRAJA	R\$ 668.400,00	120
SI ITAPEBUSSU - ITAPEBUSSU	R\$ 506.870,00	91
SI SAPUPARA - MARANGUAPE	R\$ 1.041.590,00	187
SI VARJOTA - VARJO	R\$ 1.726.700,00	310
ETA CEMOABA - TURURU	R\$ 139.250,00	25
ETA CHAVAL (SI CHAVAL)	R\$ 880.060,00	158
ETA DESERTO - ITAPIPOCA (ETA 01)	R\$ 278.500,00	50
ETA EMA - IRACEMA	R\$ 445.600,00	80
ETA FORQUILHA	R\$ 501.300,00	90
ETA IRAUCUBA - IRAUCUBA	R\$ 946.900,00	170
ETA LAGOA DA CRUZ - ITAPIPOCA (ETA 02)	R\$ 2.417.380,00	434
ETA LAGOA DO MATO - ITATIRA	R\$ 111.400,00	20
ETA LISIEUX - SANTA QUITERIA	R\$ 111.400,00	20
ETA MACARAU - SANTA QUITERIA	R\$ 150.390,00	27
SI HORIZONTE - HORIZONTE	R\$ 334.200,00	60
ETA TOME AFONSO - ITAICABA	R\$ 100.260,00	18
ETA MUNDAU -TRAIRI	R\$ 501.300,00	90
ETA TABULEIRO DO CABREIRO - ARACATI	R\$ 1.392.500,00	250
ETA TAPUIARA - QUIXADA	R\$ 3.342.000,00	600
ETA FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA	R\$ 111.400,00	20
ETA MORAUJO - MORAUJO	R\$ 111.400,00	20

Fonte: adaptado de CAGECE (2023).

É possível observar um valor elevado para o CAPEX das ETRGs em cada cidade. O valor médio de construção de cada unidade é de R\$ 504.085,00. O valor total foi de R\$ R\$ 45.395.500,00. A mais cara foi a ETA Poty localizada em Crateús com o valor de R\$ 3.620.500,00. Já as que tiveram o menor CAPEX foram a ETA Palestina e a ETA Tomé de Afonso com o valor de R\$ 100.260,00, ambas.

### 5.1.1 Análise da Estimativa do CAPEX

Foi calculado o erro do CAPEX estimado usando o valor do CAPEX das ETRGs projetadas como referência. Na tabela 5 é possível notar o erro da estimativa com base no orçamento da ETRG da cidade de Santa Quitéria, Massapê, Chaval e Crateús. O resultado dos valores são variados. A ETRG Chaval teve a estimativa bem próxima do valor real de CAPEX, chegando a apenas 2 %. Já a ETRG de Crateús, teve um erro de cerca de 37%, o que caracteriza uma dispersão elevada. A ETRG de santa Quitéria (18%) e de Massapê

(28%), apresentaram valores bem distintos de erros apesar de possuírem valores iguais de vazão, o que mostra uma grande variabilidade do método de estimativa.

Tabela 5 - Cálculo do Erro da Estimativa do CAPEX

	CAPEX	CAPEX Estimado	Erro CAPEX Estimado	Erro Médio
ETRG Santa Quitéria	R\$ 566.962,34	668.400	18%	
ETRG Massapê	R\$ 933.110,61	668.400	28%	
ETRG Chaval	R\$ 900.538,33	880.060	2%	
ETRG Crateús	R\$ 1.831.910,27	2.506.500	37%	
				<b>21%</b>

## 5.2 OPEX Interior

Os custos de OPEX mensal de cada ETA pode ser visto na Tabela 05.

Tabela 6 - OPEX mensal de cada ETA

ETA	OPEX MENSAL
ETA JARDIM SÃO JOSE	R\$ 10.604,77
ETA (01) - ITAPIPOCA	R\$ 41.053,98
ETA 02 UBAUNA - COREAU	R\$ 9.622,63
ETA ALTANEIRA - ALTANEIRA	R\$ 14.031,71
ETA ARACOIABA - ARACOIABA	R\$ 18.031,45
ETA ASSARE - ASSARE	R\$ 22.845,80
ETA CAMPOS SALES - CAMPOS SALES	R\$ 18.678,99
ETA CARIDADE - CARIDADE	R\$ 10.337,11
ETA CARIRÉ	R\$ 14.484,58
ETA CARIUS - CARIUS	R\$ 11.782,60
ETA CATUNDA - CATUNDA	R\$ 11.228,70
ETA CEMOABA - TURURU	R\$ 9.296,34
ETA CHAVAL	R\$ 19.896,81
ETA DESERTO - ITAPIPOCA (ETA 01)	R\$ 11.270,79
ETA EMA - IRACEMA	R\$ 13.915,96
ETA FORQUILHA	R\$ 16.377,05
ETA FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA	R\$ 8.808,17
ETA GENERAL SAMPAIO - GENERAL SAMPAIO	R\$ 12.734,76
ETA GUASSUSSE - OROS	R\$ 10.033,52
ETA IBICUITINGA - IBICUITINGA	R\$ 16.976,48
ETA Ideal (SI Ocara)	R\$ 16.670,43
ETA INDEPENDENCIA - INDEPENDENCIA	R\$ 15.824,52
ETA IRAUCUBA - IRAUCUBA	R\$ 19.953,51
ETA LAGOA DA CRUZ - ITAPIPOCA (ETA 02)	R\$ 41.053,98
ETA LAGOA DO MATO - ITATIRA	R\$ 8.938,70
ETA LISIEUX - SANTA QUITERIA	R\$ 8.902,26

<b>ETA MACARAU - SANTA QUITERIA</b>	R\$ 9.430,63
<b>ETA MONSENHOR TABOSA</b>	R\$ 14.977,70
<b>ETA MORAUJO - MORAUJO</b>	R\$ 8.802,74
<b>ETA MORRINHOS - MORRINHOS</b>	R\$ 12.453,84
<b>ETA MUNDAU - TRAIRI</b>	R\$ 14.238,92
<b>ETA NOVO ORIENTE - NOVO ORIENTE</b>	R\$ 32.833,30
<b>ETA PALESTINA - OROS</b>	R\$ 8.793,80
<b>ETA PALHANO - PALHANO</b>	R\$ 15.419,58
<b>ETA PARACURU - PARACURU</b>	R\$ 13.161,18
<b>ETA PARAIPABA - PARAIPABA</b>	R\$ 14.765,69
<b>ETA PAVUNA - PACATUBA 0</b>	R\$ 10.517,26
<b>ETA PENTECOSTE - PENTECOSTE</b>	R\$ 33.506,42
<b>ETA Poty</b>	R\$ 41.643,65
<b>ETA Santa Quitéria</b>	R\$ 19.457,32
<b>ETA SANTA QUITERIA - SANTA QUITERIA</b>	R\$ 16.451,48
<b>ETA SANTANA DO ACARAU - SANTANA DO ACARAÚ</b>	R\$ 14.876,13
<b>ETA SÃO JOAQUIM - UMIRIM</b>	R\$ 11.911,58
<b>ETA SEBASTIAO DE ABREU - PENTECOSTE</b>	R\$ 9.569,87
<b>ETA SERRA DO FELIX - BEBERIBE</b>	R\$ 10.675,59
<b>ETA SITIO ALEGRE - MORRINHOS</b>	R\$ 12.453,84
<b>ETA SIUPE - SÃO GONCALO AMARANTE</b>	R\$ 9.108,28
<b>ETA TABULEIRO DO CABREIRO - ARACATI</b>	R\$ 28.176,39
<b>ETA TABULEIRO DO NORTE</b>	R\$ 22.729,45
<b>ETA TAMBORIL - TAMBORIL</b>	R\$ 14.395,08
<b>ETA TAPUIARA - QUIXADA</b>	R\$ 53.201,85
<b>ETA TOME AFONSO - ITAICABA</b>	R\$ 8.878,64
<b>SI CATUANA - SÃO GONCALO DO AMARANTE</b>	R\$ 17.677,21
<b>SI GROAIRAS - GROAÍRAS</b>	R\$ 12.125,05
<b>SI HORIZONTE - HORIZONTE</b>	R\$ 11.616,35
<b>SI IPAGUACU - MASSAPE</b>	R\$ 15.608,11
<b>SI IRAJA - IRAJA</b>	R\$ 16.424,93
<b>SI ITAPEBUSSU - ITAPEBUSSU</b>	R\$ 10.697,58
<b>SI SAPUPARA - MARANGUAPE</b>	R\$ 20.270,05
<b>SI VARJOTA - VARJOTA</b>	R\$ 29.691,49

Fonte: Adaptado de (CAGECE, 2023).

Os custos de operação independe da tecnologia de tratamento da ETA, pois foi analisado Estações de Tratamento de Água com Filtração direta ascendente, Filtração direta ascendente com flotofiltração, Dupla Filtração e Filtração direta ascendente, dupla filtração e filtração direta aliado a ciclo completo com simples desinfecção e flotofiltração, Filtração Direta Ascendente e Ciclo Completo. Essas tecnologias de operação da ETA não mudaram significativamente o custo operacional das ETRGs, que possuem tecnologias iguais: Leito Drenante.

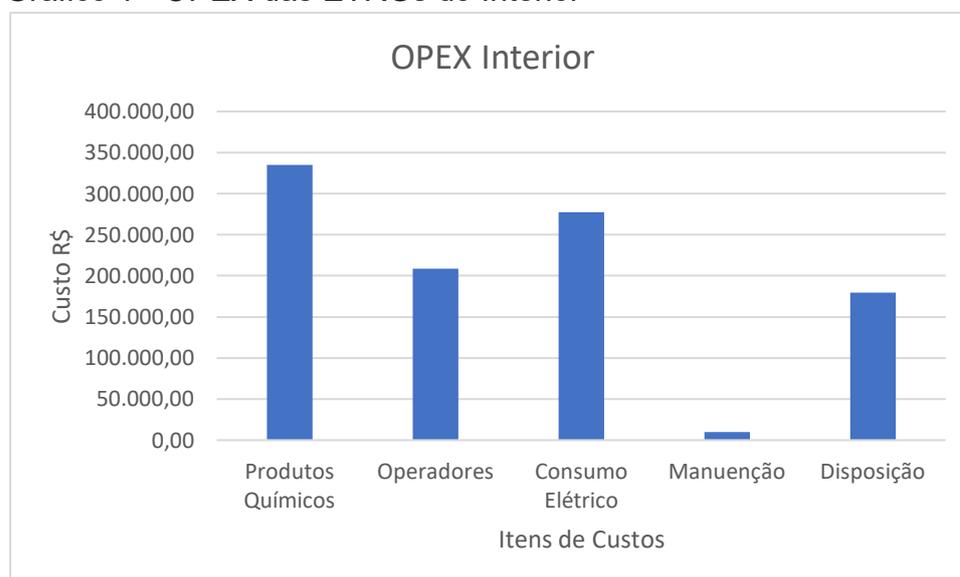
Foi observado que há uma relação do CAPEX com o OPEX. Entretanto, não há uma relação direta. A ETRG com maior CAPEX por estimativa, ETA Poty, também teve o maior custo de operação mensal: R\$ 41.643,65. Já a ETA Palestina e a ETA Moraújo, apresentaram os menores valores de OPEX, R\$ 8.793,00 e R\$ 8.802,74 respectivamente. Entretanto, não foram as mesmas que apresentaram o menor custo de CAPEX. O que mostra uma relação entre o CAPEX e o OPEX, mas não necessariamente uma relação direta.

Tabela 7 – Somatório de OPEX das ETRGs do Interior

<b>Custos Operacionais</b>	<b>Leito Drenante</b>	<b>Percentual</b>
Produtos Químicos	334.924,20	33%
Operadores	208.440,00	21%
Consumo Elétrico	277.075,40	27%
Manutenção	9.998,98	1%
Disposição	179.457,99	18%
<b>Total</b>	<b>1.009.896,56</b>	<b>100%</b>

Fonte: CAGECE (2023).

Gráfico 1 - OPEX das ETRGs do Interior



Fonte: adaptado de (CAGECE, 2023).

De acordo com o gráfico, percebe-se que os maiores gastos para manter as ETRGs de Leito Drenante das ETAs do interior em operação são com os produtos químicos e o consumo elétrico, somando mais de 60 % os dois juntos. Isso significa que o planejamento da logística dos produtos químicos é essencial para o funcionamento das ETRGs, tendo em vista que representa o maior custo e considerando que as ETAs estão localizadas por toda a extensão do estado do Ceará. O custo total mensal de operação chega a mais de R\$ 1.000.000,00.

### 5.3 CAPEX Capital

O CAPEX da ETRG da ETA Gavião corresponde a quase três vezes o valor das 60 ETAS do interior. A ETA Oeste não entra no CAPEX devido já possuir uma Estação de tratamento de Rejeitos Gerados. O custo (R\$) por (m<sup>3</sup>/h) da ETRG da ETA gavião é de R\$ 3.472,22. O que representa um valor de cerca de 38 % a menos que a media dos valores das unidades do interior da tecnologia de Leito Drenante. Diferentemente da tecnologia de leito drenante, a ETRG da ETA gavião conta com a tecnologia de Decantadores aliado ao uso centrífugas para a remoção do lodo da água de lavagem dos filtros.

Tabela 8 - CAPEX da Capital

ETRG			
ETA	CAPEX ( R\$)	Vazão de Projeto da ETA ( m <sup>3</sup> /h)	Custo (R\$) por (m <sup>3</sup> /h)
ETA Gavião	R\$ 125.000.000,00	36000	R\$ 3.472,22

Fonte: CAGECE (2023).

### 5.4 OPEX Capital

É possível observar a descrição dos custos de OPEX das ETRGs da Capital na Tabela 8. A ETA gavião tem duas tecnologias de ETRGs propostas: Decantadores ou flotadores.

Tabela 9 - Custo Operacional Mensal da ETRG Capital

Custos Operacionais	ETA Gavião Decantador	ETA Gavião Flotador	ETA Oeste - Decantador
Produtos Químicos	181.220,46	98.429,39	32.321,25
Operadores	10.422,00	10.422,00	10.422,00
Consumo Elétrico	222.078,96	348.660,72	12.162,24
Manutenção	713.164,10	713.164,10	74.618,88
Disposição	11.268,86	11.706,76	1.295,24
<b>Total</b>	<b>1.138.154,38</b>	<b>1.182.382,97</b>	<b>130.819,61</b>

Fonte: CAGECE (2023)

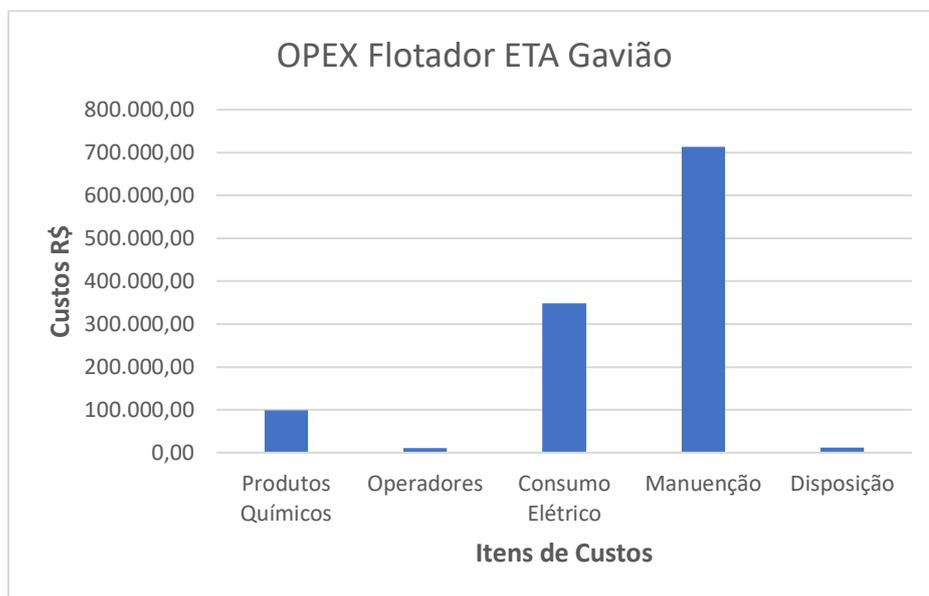
A média de Custo com produtos químicos da tecnologia de decantadores da ETA gavião foi de R\$ 5,03 por m<sup>3</sup>/h de vazão, ou seja, a cada m<sup>3</sup>/h de vazão da ETA. Um valor menor que as unidades do interior, o que pode significar uma menor dependência de produtos químicos. Em contrapartida, a tecnologia de flotadores tem uma dependência ainda menor de produtos químicos, tendo o custo de cerca de R\$ 2,73 por m<sup>3</sup>/h de vazão da ETA. Isso representa uma vantagem da tecnologia de flotadores em relação a de decandadores.

No custo de operação das unidades da capital, é possível notar uma mudança nos custos em relação ao interior. Enquanto nas estações do interior as previsões de custos tiveram seus maiores índices nos produtos químicos e consumo elétrico, as unidades da

capital apresentaram o maior custo na manutenção do sistema. Isso pode estar associado a complexidade da mão de obra.

Para o flotador da ETA gavião temos o maior custo sendo o de manutenção seguido do consumo elétrico, representando 90% do custo total de operação. Observa-se também que o flotador depende menos de produto químico em comparação com as outras tecnologias. O consumo de polímero do decantador é 84% maior do que o do flotador.

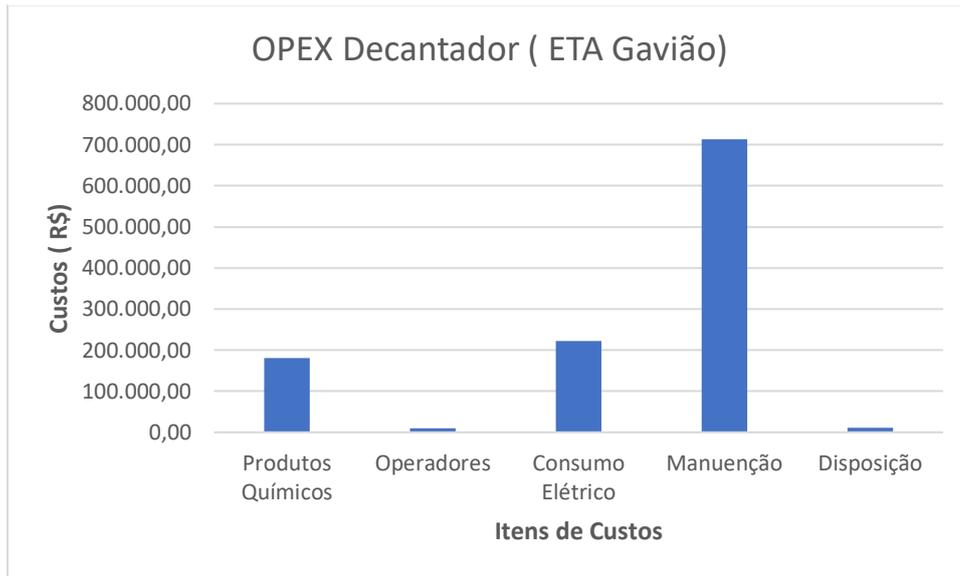
Gráfico 2 - OPEX Capital (Flotador ETA Gavião)



Fonte: adaptado de (CAGECE, 2023)

Para o decantador da ETA gavião temos o maior custo sendo o de manutenção seguido também do consumo elétrico, representando 82% do custo total de operação. Apesar da tecnologia de flotadores possuir um menor custo com produto químico, a ETRG com decantadores tem um menor custo elétrico. O custo elétrico do Flotador é 57 % maior do que o Decantador. A tecnologia de flotadores possui um custo de R\$ 1.182.382,97. Em contrapartida, a tecnologia de decantadores tem um custo total de OPEX de R\$ 1.138.154,38. Uma economia de R\$ 43.839,97 mensal.

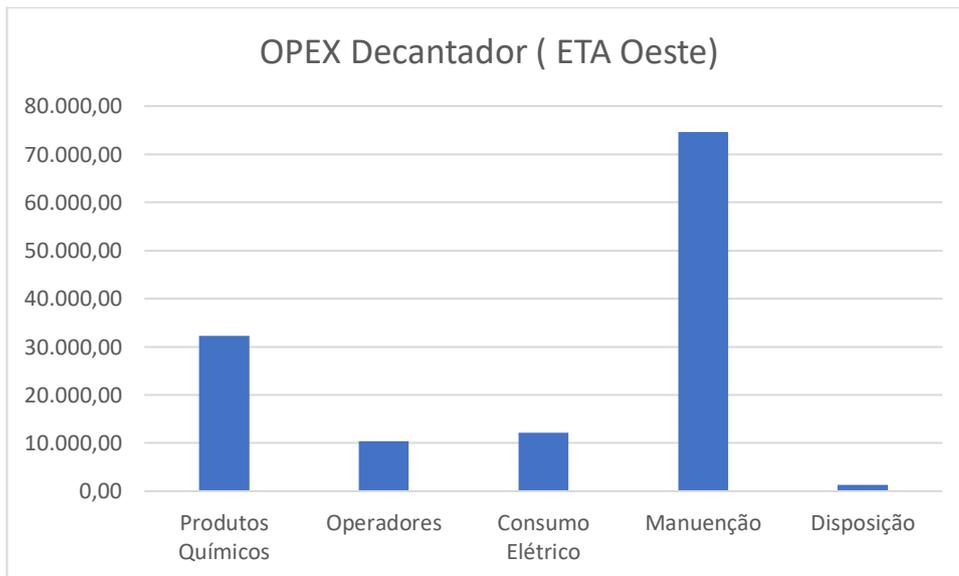
Gráfico 3 - OPEX Capital (Decantador ETA Gavião)



Fonte: adaptado de (CAGECE, 2023).

. Para o decantador da ETA oeste temos o maior custo sendo o de manutenção seguido do produto químico, representando 82% do custo total de operação.

Gráfico 4 - OPEX Capital (Decantador ETA Oeste)



Fonte: adaptado de (CAGECE, 2023).

## 6 CONCLUSÕES

Enquanto unidade de tratamento de rejeitos gerados nas ETAs, as ETRGs possibilitam a CAGECE o cumprimento das normas ambientais de disposição dos resíduos e atenuam o risco do cometimento de crimes ambientais. Ademais, inibe o risco de se poluir um corpo hídrico que, muitas vezes, a própria empresa pode utilizar, deixando o tratamento ainda mais caro devido a pior qualidade da água bruta.

Para tanto, deve-se levar em consideração os valores elevados para se adquirir as Estações de Tratamento de Rejeitos Gerados. O CAPEX das unidades do interior mostrou que a CAGECE deverá desembolsar R\$ 45.395.500,00 e R\$ 125.000.000,00 na capital. Para se manter as unidades do interior em operação o custo é de R\$ 1.009.896,56 . Já as da capital é de R\$ 1.268.973,38 caso seja implementado decantadores na ETRG da ETA Gavião e de R\$ 1.313.201,97 caso seja implementado flotadores. O que nos permite concluir que o uso de decantadores para a ETRG do Gavião possui um OPEX menor.

A relação do CAPEX (R\$) por vazão ( $m^3/h$ ), nas unidades do interior, encontrada foi de R\$ 5570 a cada ( $m^3/h$ ). Já na unidade da ETA Gavião foi de R\$ 3.472,22 a cada ( $m^3/h$ ). Um valor 38% menor do que nas unidades do interior. O fato da ETRG da ETA Gavião possuir uma relação de CAPEX por ( $m^3/h$ ) menor, deve ser objeto de novos estudos a fim de se verificar se em ETAs com maiores vazões é economicamente mais viável usar a tecnologia de Decantadores ao invés de Leito Drenante. Caso isso seja provado, seria excelente para a CAGECE, pois essa tecnologia é menos dependente de produtos químicos, o que tornaria a logística desses produtos menos sobrecarregada.

Na avaliação do método de estimativa, os resultados dos valores foram variados. A ETRG Chaval teve a estimativa bem próxima do valor real de CAPEX de projeto, chegando a apenas 2 %, enquanto a ETRG de Crateús, teve um erro de cerca de 37%, o que caracteriza uma dispersão elevada. A ETRG de santa Quitéria (18%) e de Massapê (28%), apresentaram valores bem distintos de erros apesar de possuírem valores iguais de vazão, o que mostra uma grande variabilidade do método de estimativa utilizado.

Portanto, apesar do uso de ETRGs ser imprescindível para o cumprimento das normas ambientais, para evitar-se o cometimento de crimes ambientais e conservar a qualidades dos mananciais do estado, há uma necessidade de se pesquisar outras estratégias mais viáveis economicamente de se atenuar a problemática da geração de resíduos das ETAs, ou até mesmo melhorar a estratégia de implantação de ETRGs. Já que foi notado no levantamento de dados que há ETAs cujo horizonte de projeto já passa de 20 anos e precisa-se avaliar se nesse caso compensa implementar uma ETRG ou reformar a ETA.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ACHON, L.A.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, [s. l], v. 13, n. 1, p. 54-62, jan. 2008. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/leito-de-drenagem-sistema-natural-para-reducao-de-volume-de-lodo-de-estacao-de-tratamento-de-agua>. Acesso em: 02 Out. 2023.

MOLINA, T. Caracterização e tratamento de água de lavagem de filtros de ETA, com o uso de polímeros sintéticos e amido de batata. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [s. l], v. 2, n. 3, p. 28-44, 2 dez. 2010. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11312/209209209324>. Acesso em: 24 nov. 2023.

SOBRINHO, A. M. A. Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, [s. l], v. 24, n. 4, p. 761-771, 28 maio 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/YjyVxgCH7JqLyznfmG43LqH/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ALVES, A. B.; RABELO, D.C. Acesso à água potável no Brasil: de ações pontuais à política social. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, [s. l], v. 10, n. 3, p. 286-301, dez. 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/pedro/Downloads/site-seer,+23+TL+19679+\(p.+286-301\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/pedro/Downloads/site-seer,+23+TL+19679+(p.+286-301)%20(1).pdf). Acesso em: 24 nov. 2023

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. de S.; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Tarumã, Curitiba, v. 17, n. 3, p. 315-324, set. 2012. Disponível em: <://www.scielo.br/j/esa/a/RxJFBX3ntCZqSVpxw57kjZG/?format=pdf&lang=pt#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20do%20lodo%20de,e%20nutrientes%2C%20como%20nitrog%C3%AAnio%20e>. Acesso em: 24 nov. 2023

GUERRA, R.C.; ANGELIS, D.F.D. Classificação e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário. **Arquivos Instituto Biológico São Paulo**, v. 72, n. 1, p. 87-91, mar. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/s7yLC7YkMhjBfC8jP5BRkJs/?lang=pt#>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SANTOS, S. S. A. Caracterização e utilização de resíduo sólido: lodo de eta, como matéria prima para confecção de elementos da construção civil. 2011. 87 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Química Analítica, **Universidade Federal da Bahia**, Salvador, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/10930/4/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Selma%20S%20A%20Santos.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2023.

LEMES, S. R. Destino dos resíduos produzidos na estação de tratamento de água. 2018. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, **Instituto Politécnico – Centro Universitário Una**, Pouso Alegre, 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/projetocorrigido.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2023.

CEARÁ. Raquel da Silva Sales. **Ipece**. Abastecimento de água nos domicílios cearenses é alvo de análise em estudo publicado pelo Ipece. 2020. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/2020/05/28/n-abastecimento-de-agua-nos-domicilios-cearenses-e-alvo-de-analise-em-estudo-publicado-pelo-ipece/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

CE. **Cogerh**. Ceará atinge a marca de 63 açudes sangrando; Volume total do Estado é de 47,5%. 2023. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/ceara-atinge-marca-de-63-acudes-sangrando-volume-total-do-ceara-e-de-475/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

CEARÁ. André Costa. **Funceme**. Volume de chuva em 2022 no Ceará é o maior dos últimos 13 anos. 2023. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/volume-de-chuva-em-2022-no-ceara-e-o-maior-dos-ultimos-13-anos-saiba-onde-mais-choveu-1.3318338>. Acesso em: 10 nov. 2023.

CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos – SRH. **Histórico**, SRH. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/historico/> Acesso em: 21 nov. 2023.

CEARÁ. Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE. Disponível em:  
<https://www.cagece.com.br/produtos-e-servicos/agua/> Acesso em: 20 de Nov. 2023