

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Monick da Silva Dutra

Reaproveitamento e disposição final dos resíduos produzidos nas Estações de
Tratamento de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Juiz de Fora

2022

Monick da Silva Dutra

Reaproveitamento e disposição final dos resíduos produzidos nas Estações de
Tratamento de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientadora: Prof. Dra. Renata de Oliveira Pereira

Juiz de Fora

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Dutra, Monick da Silva.

Reaproveitamento e disposição final dos resíduos produzidos nas Estações de Tratamento de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul / Monick da Silva Dutra. -- 2022.

97 f. : il.

Orientadora: Renata de Oliveira Pereira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2022.

1. Resíduos de ETA. 2. Lodo de ETA. 3. Água de lavagem dos filtros. 4. Resíduos sólidos. 5. Tratamento de Resíduos. I. Pereira, Renata de Oliveira, orient. II. Título.

Monick da Silva Dutra

Reaproveitamento e disposição final dos resíduos produzidos nas Estações de Tratamento de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Aprovada em 23 de setembro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Renata de Oliveira Pereira – Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Jonathas Batista Gonçalves Silva
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dra. Rosane Cristina de Andrade
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho aos meus pais,
os grandes amores da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao Universo, por estarem sempre a meu favor.

Ao meu pai Sérgio, minha mãe Maria Aparecida, e aos meus irmãos Serginho e Geovanne, por todo amor, cuidado e incentivo.

Ao meu amor Vinicius e minha filha de quatro patas Frida, por compartilharem mais que a vida comigo.

A minha orientadora Renata Pereira, por todo conhecimento transmitido, pela dedicação, disponibilidade e boa vontade para realização da pesquisa.

Aos professores convidados para comporem a banca Jonathas Silva e Rosane de Andrade, pela disponibilidade e sugestões valiosas.

A todos que, diretamente e indiretamente, contribuíram de alguma forma para meu crescimento pessoal e espiritual ao longo desta jornada.

Meus sinceros e profundos agradecimentos.

RESUMO

Em consequência ao crescimento populacional tem-se o aumento da demanda por água potável. Esse fato fez com que a geração de resíduos nas denominadas ETAs - Estações de Tratamento de Água também crescesse. Para que a qualidade da água atenda nossas necessidades, esta precisa passar por uma série de processos que geram resíduos, os quais devem ser gerenciados de maneira adequada para que não causem danos ambientais. O estudo tem como foco principal a análise da situação quanto a geração de resíduos de ETAs na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, bem como as possibilidades de reaproveitamento e disposição final dos mesmos. Foram consultados mais de 70 documentos para identificação das estações presentes em 57 municípios da Bacia Hidrográfica, classificando-as em seguida com base na tipologia de tratamento utilizado para potabilidade da água. Assim, foram mapeados quatro possíveis meios de reaproveitamento e disposição final ambientalmente adequada nos municípios analisados, sendo eles os viveiros, as fábricas de materiais cerâmicos, Estações de tratamento de Esgoto e aterros sanitários. Os resultados do estudo apontam que do total de ETAs encontradas na Bacia Hidrográfica mais de 90% são produtoras de resíduos de ETA e que apenas 7% realizam o tratamento dos mesmos. Foram localizados mais de 200 destinos como opções para a aplicação dos resíduos gerados, onde do total de municípios analisados, mais de 80% poderiam reaproveitá-los ou dispô-los de maneira adequada considerando ao menos uma das opções.

Palavras-chave: Resíduos de ETA. Lodo de ETA. Água de lavagem dos filtros. Resíduos sólidos. Tratamento de Resíduos.

ABSTRACT

As a consequence of the population growth, the demand for drinking water has increased. This fact has caused the generation of waste in the so-called WTPs - Water Treatment Plants - to grow as well. In order for the water quality to meet our needs, it must go through a series of processes that generate waste, which must be properly managed so that it does not cause environmental damage. The study's main focus is to analyze the situation regarding the generation of WTP waste in the Paraíba do Sul River Basin, as well as the possibilities for its reuse and final disposal. More than 70 documents were consulted to identify the stations present in 57 municipalities of the basin, classifying them based on the type of treatment used for drinking water. Thus, four possible means of reuse and environmentally appropriate final disposal were mapped out in the municipalities analyzed: nurseries, ceramics factories, sewage treatment plants, and landfills. The results of the study show that of the total WTPs found in the watershed more than 90% are producers of WTP residues and that only 7% perform their treatment. More than 200 destinations were located as options for the application of the waste generated, where of the total number of municipalities analyzed, more than 80% could reuse them or dispose of them adequately considering at least one of the options.

Keywords: WTP waste. WTP sludge. Filter washing water. Solid waste. Waste treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.....	18
Figura 2 – Destinos dados aos resíduos de ETA gerados no Brasil em 2017	39
Figura 3 – Destinação final dos resíduos de ETA em 175 municípios do estado de Minas Gerais.....	40
Figura 4 – Destinação final dos resíduos de ETA em municípios abastecidos pela Bacia PCJ em São Paulo.....	40
Quadro 1 – Tipo de tratamento adotado pela ETA, tipos de resíduos gerados e informações sobre o tratamento dos resíduos.....	47
Quadro 2 – Mapas gerados para análise da situação referente as ETAs encontradas e mapeadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.....	47
Figura 5 – Organograma de fontes consultadas e informações coletadas quanto aos métodos de reaproveitamento sugeridos.....	49
Quadro 3 – Fontes consultadas e links de acesso utilizados para buscas quanto aos métodos de reaproveitamento sugeridos.....	49
Figura 6 – Organograma de fontes consultadas e informações coletadas quanto aos meios de disposição final ambientalmente adequados sugeridos.....	51
Quadro 4 – Fontes consultadas e links de acesso utilizados para buscas quanto aos meios de disposição final sugeridos.....	51
Quadro 5 – Mapas gerados para análise dos métodos de reaproveitamento e disposição final dos resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul....	52
Figura 7 – Demarcação das ETAs identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e dos municípios geradores de resíduos de ETA.....	53
Figura 8 – Classificação das ETAs identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul como convencionais, compactas e simplificadas.....	54
Figura 9 – Vazões das ETAs identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul conforme tratamento utilizado.....	55
Figura 10 – Identificação do tipo de resíduo gerado nas ETAs mapeadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, bem como, a demarcação de todas as concessionárias consideradas geradoras.....	56
Figura 11 – Tipos de resíduos gerados nas ETAs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e geração destes resíduos por estado.....	57

Figura 12 – ETAs geradoras e não geradoras de resíduos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e das que informaram quanto ao tratamento dos mesmos	58
Figura 13 – Informações quanto ao tratamento dos resíduos de ETA gerados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul	59
Figura 14 – Destinação final dada aos resíduos gerados nas ETAs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul	60
Figura 15 – Opções de reaproveitamento e disposição final para os resíduos de ETA nos 57 municípios analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul	63
Figura 16 – Possibilidades para aplicação dos resíduos gerados nas ETAs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul	64
Quadro 6 – Municípios geradores de resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e melhores opções para aplicação dos mesmos, considerando principalmente a distância a ser percorrida.....	69
Figura 17 - Opções de reaproveitamento e disposição final dos resíduos de ETA no município de Três Rios - RJ.....	71
Quadro 7 – Consultas realizadas para coleta de informações sobre as Estações de Tratamento de Água presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos quantitativos de resíduos gerados calculados pela fórmula da WRC para as ETAs da RMSP nos anos de 2003 e 2025	26
Tabela 2 – Produção calculada mensal de sólidos e turbidez média mensal	27
Tabela 3 – Custo de transporte de disposição final do lodo	37
Tabela 4 – Fontes consultadas para coleta de dados e informações	46
Tabela 5 – Quantificação dos viveiros, fábricas de materiais cerâmicos, ETEs e Aterros Sanitários nos 57 municípios analisados na Bacia Hidrográfica	61
Tabela 6 – Quantidade de municípios contendo destinos para aplicação dos resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.....	62
Tabela 7 – Possibilidades de aplicação dos resíduos de ETA nos 57 municípios analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
ALAF	Água de Lavagem dos Filtros
AM	Azul de Metileno
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FiME	Filtração em Múltiplas Etapas
IAP	Índice de Atividade Pozolânica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE/SP	Instituto de Engenharia de São Paulo
LETA	Lodo de Estação de Tratamento de Água
NBR	Norma Brasileira
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RI	Resíduo Industrial
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
SUASA	Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária

UASB Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UTR Unidade de Tratamento de Resíduos

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
Fe	Ferro
g/L	Gramas por Litro
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
Kg	Quilograma
Km	Quilômetro
Km/h	Quilômetro por hora
L	Litro
L/s	Litro por segundo
m	Metro
mg/L	Miligrama por Litro
Mpa	Mega Pascal
R\$/m ³	Reais por metro cúbico
R\$/t	Reais por tonelada
t/dia	Tonelada por dia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	17
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE ETA	19
3.3	LEGISLAÇÕES PERTINENTES AO MANEJO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL	20
3.4	TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO NO BRASIL	23
3.5	REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE ETA	28
3.6	DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE ETA NO BRASIL	38
4	MATERIAL E MÉTODOS	45
4.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ETAS PRESENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	45
4.2	REAPROVEITAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE ETA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICE A – Documentos consultados e links das fontes de pesquisas	92

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico engloba serviços que contribuem diretamente para avanços na saúde, sociais e econômicos. A água é considerada um recurso fundamental para a sobrevivência humana, sendo um suprimento indispensável às nossas necessidades essenciais, todavia, seu uso vem gerando conflitos. A demanda crescente por produtos, bens e serviços ocasionaram o aumento acelerado pelo consumo de água, aumentando conseqüentemente a geração de resíduos produzidos para torná-la potável. Tendo em vista a importância desse recurso, torna-se necessário o conhecimento do quadro atual quanto ao abastecimento de água e a gestão dos resíduos provenientes do processo de seu tratamento (VILELLA, 2011).

A problemática do tema diz respeito ao cenário brasileiro nos últimos anos, tornando-se notório que em nosso país a situação do saneamento básico, no que tange o abastecimento de água, traz em seu escopo várias irregularidades, sendo uma delas o assunto tratado em questão, a produção e destinação final dos resíduos gerados nas ETAs. No ano de 2017, dos 1.825 municípios brasileiros com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição em funcionamento e gerando resíduos de ETA, cerca de 1.300 depositavam os rejeitos em corpos hídricos sem tratamento prévio (IBGE, 2017).

Após sua captação em um manancial através de equipamentos e instalações, a água bruta passa por processos de tratamento para que, em seguida, seja distribuída pela rede de abastecimento de água. Esses processos têm como consequência a geração de resíduos complexos e de difícil manejo e disposição, como o lodo de ETA (LETA), uma massa densa, a qual possui cerca de 1 a 4% de sólidos totais, e a água de lavagem dos filtros (ALAF), sendo ambos altamente prejudiciais ao meio ambiente caso não sejam administrados da maneira correta (ACHON *et al.*, 2013; DI BERNARDO *et al.*, 2012). O lodo gerado em decantadores equivale a cerca de 0,2% a 0,5% do volume de água tratado pela estação, tendo suas características variadas conforme a qualidade do manancial de captação e produtos químicos aplicados durante o tratamento da água, possuindo alto teor de umidade, podendo conter elevada concentração de matéria orgânica (RICHTER, 2001).

A maioria das ETAs não quantifica os resíduos gerados, poucas avaliam suas características e os destinam de maneira adequada, impossibilitando a aplicação de ferramentas voltadas para seu gerenciamento (ACHON *et al.*, 2013). Segundo a NBR

10.004, os resíduos gerados nas ETAs são considerados resíduos sólidos ainda que contenham mais de 95% de água em volume, e por questões técnicas e ambientais, devem passar por devido tratamento antes que sejam dispostos no meio ambiente (ABNT, 2004).

Segundo Richter (2001), os meios de disposição dos resíduos de ETA mais comuns são o lançamento de modo direto em corpos hídricos, disposição em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), no solo e em aterros sanitários. Entidades de controle ambiental no Brasil como o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) através da Resolução nº 430 de 13/05/2011, e o SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) por meio da Lei nº 6.938/81, estabelecem diretrizes a serem seguidas no que diz respeito a esse lançamento segundo a classe do recurso hídrico receptor, limitando o uso de cada uma das formas adotadas de disposição, levando em consideração principalmente a composição do resíduo produzido.

O tipo e qualidade dos resíduos gerados nas ETAs, além dos custos implicados em seu tratamento e encaminhamento, influenciam diretamente na escolha da alternativa de disposição adequada. Esse planejamento deve compreender perspectivas que orientem a destinação final levando em consideração aspectos técnicos, ambientais e econômicos de cada estação (JANUÁRIO *et al.*, 2007).

Os desafios atualmente impostos para a solução do problema quanto ao manejo e disposição dos resíduos gerados nas ETAs são significativos, não apenas pela necessidade de implantação de obras, aquisição de equipamentos e operação do sistema, mas também por seus custos operacionais elevados, bem como, pelas dificuldades impostas para sua disposição final (LIMA *et al.*, 2021).

Tendo em vista a problemática em questão, faz-se necessário que o setor de saneamento ambiental tenha uma visão abrangente em relação ao sistema de tratamento de água, uma vez que, há uma preocupação no âmbito internacional em se reduzir a quantidade de resíduos produzidos por meio das ETAs, realizando a reciclagem ou reuso dos mesmos, dispondo apenas o que não puder ser aproveitado (ACHON *et al.*, 2013).

Deste modo, o trabalho visa atuar na importante temática referente à gestão dos resíduos produzidos pela indústria de abastecimento de água, contribuindo para o reconhecimento da problemática do tema e a garantia da segurança hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho figura-se em detectar a situação quanto à produção de lodo e água de lavagem dos filtros provenientes das Estações de Tratamento de Água dos municípios com população igual ou superior a 20.000 habitantes pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, de forma a avaliar possibilidades de reaproveitamento e disposição final dos mesmos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos podemos destacar:

- Mapeamento da área de estudo visando a localização das ETAs produtoras de resíduos, bem como, a identificação dos tipos de resíduos gerados e os destinos adotados.
- Propor uma análise crítica sobre a atual disposição dos resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica em questão, levantando soluções que visam o reaproveitamento e disposição adequada dos mesmos.
- Mapear possibilidades para o reaproveitamento e disposição final adequada dos resíduos gerados nas ETAs presentes na área de estudo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

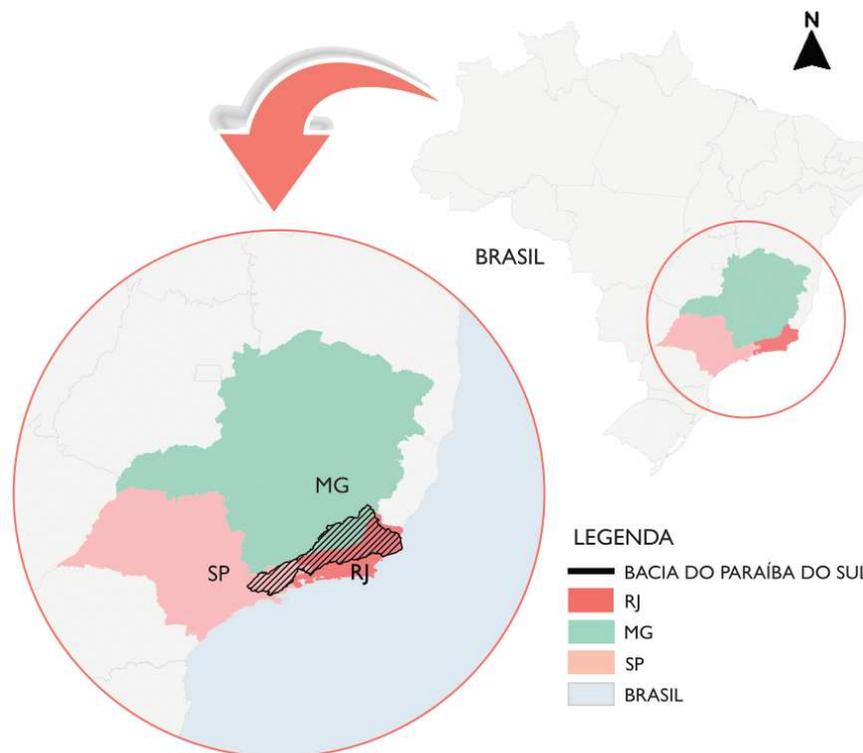
O presente capítulo possui referenciais essenciais para a condução da dissertação. Sua estrutura é composta por seis itens principais, sendo o primeiro destinado a caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, o segundo abordando as características dos resíduos de ETA, o terceiro sobre as legislações pertinentes quanto ao manejo e disposição final dos resíduos de ETA, o quarto relacionado ao tratamento de água de ciclo completo e a geração dos resíduos de ETA no Brasil, o quinto abordando as opções para reaproveitamento desses resíduos, e por fim, o sexto item abordando a situação referente à disposição final desses resíduos no Brasil.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul está localizada na região Sudeste e apresenta área de drenagem aproximada de 61.000 km², sendo responsável por drenar e abastecer uma das regiões mais desenvolvidas do país, abrangendo parte do Estado de São Paulo, na região conhecida como Vale do Paraíba Paulista, parte do Estado de Minas Gerais, denominada Zona da Mata Mineira, e metade do Estado do Rio de Janeiro, tendo em toda sua extensão cerca de 184 municípios (AGEVAP, 2021) (Figura 1).

Segundo o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, sua população estimada para o ano de 2018 era de aproximadamente 7 milhões de pessoas. O Rio Paraíba do Sul cumpre importante papel político e econômico, estando localizado entre os maiores polos industriais e populacionais do país. Seu desenvolvimento vem acarretando a degradação da qualidade de suas águas e a redução de sua disponibilidade hídrica, exigindo ações do governo e a mobilização de diferentes setores da sociedade para sua recuperação, tendo registrado crescente processo de degradação de seus recursos hídricos (AGEVAP, 2021).

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Bacia Hidrográfica é utilizada para diluição de efluentes industriais, o que ocasionou forte contaminação de suas águas e de sua biótica aquática. Por mais que possua grande potencial para irrigação, somente uma pequena parcela é utilizada para tal finalidade, sendo que, em determinadas regiões verifica-se a escassez de água dos mananciais utilizados para esse fim. Sua degradação proveniente da poluição tóxica e orgânica afetou também atividades de pesca e aquicultura, diminuindo significativamente suas reservas de peixes (AGEVAP, 2021).

Os problemas referentes ao sistema de limpeza urbana são constantes em quase todos os municípios da Bacia Hidrográfica. A disposição final dos resíduos muitas das vezes é feita em lixões a céu aberto, áreas desapropriadas, alugadas ou anexadas à administração municipal sem devida licença ambiental de instalação e operação, contribuindo para o desenvolvimento de vetores biológicos, acarretando o agravamento do quadro ambiental em sua totalidade (AGEVAP, 2021).

Tendo como base a situação atual, o CEIVAP (Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul) criou um programa de ações visando mitigar e minimizar problemas relacionados aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos,

de forma a promover a gestão integrada. O programa engloba seis agendas, as quais tem como principais finalidades a garantia da qualidade, disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento, reduzindo a poluição hídrica, minimizando a contaminação por produtos químicos e materiais perigosos, diminuindo também, a quantidade de águas residuais não tratadas, além de fomentar a reciclagem e reutilização dos resíduos gerados (AGEVAP, 2021).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE ETA

Os principais resíduos produzidos nas ETAS convencionais de ciclo completo são o lodo gerado nas unidades de separação sólido-líquido, proveniente de decantadores convencionais ou de alta taxa e flotadores, e a água de lavagem dos filtros. Ambos os resíduos possuem características distintas, sendo que, o lodo descarregado pelas unidades de sedimentação ou por flotação apresenta baixa vazão e alta concentração de sólidos, enquanto a água de lavagem dos filtros tem elevada vazão e baixa concentração de sólidos (FERREIRA FILHO, 2017).

Os resíduos de ETA são constituídos por resíduos orgânicos e inorgânicos originados da água bruta, por hidróxidos de alumínio resultantes da adição de coagulantes, e demais polímeros condicionantes do processo. O lodo acumulado no fundo dos decantadores é composto por materiais inertes, materiais orgânicos e precipitados químicos, principalmente hidróxidos de alumínio em grande quantidade, enquanto a água de lavagem dos filtros é composta por pequenos flocos formados pelo aglomerado de colóides e hidróxidos de alumínio (BIDONE et al., 2001).

Richter (2001) afirma que a quantidade de sólidos totais no lodo de tanques de decantação varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4%), enquanto no lodo proveniente da lavagem dos filtros o conteúdo de sólidos totais varia entre 40 a 1.000 mg/L (0,004 a 0,1%). Os resíduos provenientes da lavagem dos filtros em ETAs que utilizam processos de coagulação possuem elevada concentração de sólidos suspensos, os quais variam ao longo da lavagem, tendo concentração média de 50 a 400 mg/L (RIVERA, 2001).

As características da água bruta influenciam diretamente na dosagem de sulfato de alumínio a ser aplicado, o que influencia no volume, composição e características do resíduo gerado. Outro fator que contribui para as variações das

características do resíduo de ETA, é a adição de alcalinidade e polieletrólitos, além das variações no tratamento e operação da ETA, como o tipo de decantador utilizado, a forma de descarte do lodo, a recirculação e características da água de lavagem dos filtros (BIDONE et al., 2001).

O lodo de ETA é considerado uma substância não-newtoniana, de composição gelatinosa, resistente ao adensamento, especialmente quando a água bruta possui baixa turbidez. Além dos hidróxidos de alumínio, possui em sua composição partículas inorgânicas como a argila e areia, colóides e microrganismos, incluindo materiais orgânicos e inorgânicos, podendo ser composto por sedimentos dos clarificadores, lavagem dos filtros, lodo da recuperação de lavagem ou uma combinação desses componentes (BIDONE et al., 2001).

3.3 LEGISLAÇÕES PERTINENTES AO MANEJO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída através da Lei nº 12.305/10, no ano de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº 10.936/2022, buscando estabelecer a forma com que nosso país lida com seus resíduos sólidos. A PNRS estabelece em seu art. 8º instrumentos indispensáveis para que seus objetivos sejam alcançados, tendo como um dos principais o Plano de Resíduos Sólidos, o qual tem a obrigatoriedade de ser elaborado por todos os municípios brasileiros, abrangendo o ciclo que se inicia desde a geração do resíduo até a disposição final ambientalmente adequada do mesmo (BRASIL, 2010).

A PNRS traz algumas definições importantes, onde rejeitos são definidos como resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. Os resíduos sólidos são caracterizados por qualquer material, substância ou objeto descartado que seja resultado de atividades humanas em sociedade, devendo sua destinação final ser feita nos estados sólido ou semissólido, tal como gases contidos em recipientes e líquidos cujas propriedades inviabilize seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água (BRASIL, 2010).

A Lei Federal nº 12.305/2010 ainda diferencia destinação final ambientalmente adequada de disposição final ambientalmente adequada. Sendo destinação final

ambientalmente adequada tida como destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e SUASA (Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária). Já a disposição final ambientalmente adequada é entendida como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando impactos ambientais adversos. (BRASIL, 2010).

Em seu art. 9º, a lei destaca a necessidade de se seguir a ordem de prioridade no que diz respeito a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, sendo ela: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A não geração de resíduos está diretamente ligada à eficiência da cadeia produtiva e de serviços a partir do uso de tecnologias modernas e inovadoras, e por mais que não seja fácil eliminar por completo a geração de resíduos, por meio de investimentos na eficiência de produção, torna-se possível em algumas etapas do processo. Ao esgotar todos os meios para não geração dos resíduos, deve-se desenvolver técnicas para reduzir a quantidade gerada, tendo como fatores primordiais para prevenção de desperdícios a gestão e a logística (VGR – Gestão de Resíduos, 2020).

Para que a reutilização do resíduo aconteça é necessário que na fabricação o processo apresente características que permitam seu uso sem perda significativa de sua qualidade inicial, buscando assim, prolongar a vida útil do produto no mercado. A reciclagem tem como finalidade reintroduzir um resíduo, após sofrer transformações em suas propriedades, a uma determinada cadeia produtiva para que sirva de matéria prima para a fabricação de outros produtos (VGR – Gestão de Resíduos, 2020).

Sendo necessário o tratamento do resíduo, são utilizadas tecnologias capazes de neutralizar sua periculosidade, possibilitando muitas das vezes, sua reutilização e reciclagem. O tratamento dos resíduos gerados se torna essencial para que a empresa esteja em conformidade com as leis vigentes, cumprindo as metas de reciclagem sem afetar sua capacidade de produção. O método de disposição final deve ser empregado apenas se o resíduo não se fizer capaz de passar por qualquer tipo de tratamento, se atentando ao máximo para que não polua ou cause algum dano ao meio ambiente (VGR – Gestão de Resíduos, 2020).

No ano de 2020 um novo marco regulatório do saneamento básico foi introduzido por intermédio da Lei Federal nº 14.026/2020, trazendo em seu escopo importantes atualizações, ampliando sobretudo, a capacidade de atuação da Agência Nacional de Águas (ANA), a qual, além da água, passou a regulamentar o saneamento básico em sua totalidade. A legislação tem em seu texto normativo diretrizes que dizem respeito a Política Federal de Saneamento Básico, e nela está entabulada como esses serviços públicos deverão ser prestados e seus princípios básicos a serem observados.

A Lei nº Federal nº 14.026/2020 traz entre seus princípios fundamentais questões referentes ao abastecimento de água potável, estabelecendo em seu art. 2º, III, que o setor de saneamento básico deve cumprir todas as exigências no que diz respeito ao manejo dos resíduos sólidos gerados, levando em consideração principalmente questões de saúde pública, além da conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente. O lançamento de efluentes em corpos d'água é pautado pela Resolução 357 (CONAMA, 2005), a qual determina sobre a classificação dos corpos hídricos, e pela Resolução 430 (CONAMA, 2011), a qual complementa a anterior e dispõe sobre as condições, parâmetros e diretrizes pertinentes ao lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Apesar do aspecto aquoso, os resíduos de ETA são classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como resíduos sólidos, sendo necessárias soluções técnicas e economicamente viáveis, a fim de serem tratados e dispostos sem que provoquem danos ambientais. A norma se vincula diretamente aos resíduos sólidos oriundos dos processos de tratamento das ETAs, e define, em seu item 3, sub item 3.1, os resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

Sendo representados como resíduos sólidos, os resíduos de ETA tornam-se prejudiciais ao meio ambiente se não forem realizados procedimentos adequados

para que ocorra a reutilização ou disposição final adequada. Destacamos assim, a importância da atuação no controle e supervisão por meio de órgãos públicos visando mitigar os danos ambientais, tendo como principal intuito, minimizar o prejuízo causado pela administração indevida de resíduos sólidos como os de Estações de Tratamento de Água.

3.4 TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO NO BRASIL

A maioria das ETAs no Brasil adotam o tratamento de ciclo completo, o qual é constituído por cinco etapas, sendo elas: coagulação; floculação; decantação ou flotação; filtração e desinfecção, ocorrendo em seguida, a adição de flúor para proteção da saúde bucal entre outros tipos de ajustes finais, como a correção de pH (ACHON *et al.*, 2013).

A coagulação é definida como o processo de desestabilização das partículas coloidais e suspensas, o qual é realizado pela junção de ações físicas e químicas na etapa denominada mistura rápida, tendo como uma das finalidades a dispersão do coagulante na água (LIBÂNIO, 2016). Na etapa de floculação acontece a mistura lenta, onde as partículas desestabilizadas no processo de coagulação se unem e formam flocos, tornando mais fácil a retirada dessas impurezas nas próximas etapas. Na decantação temos a separação dos flocos produzidos pela etapa anterior por meio da gravidade, posto que, os flocos se sedimentam, ficando somente a água limpa na parte superior. A etapa de filtração tem como objetivo a retirada das partículas de impureza e microrganismos que não foram contidos nos processos anteriores. Por fim, temos a desinfecção, a qual é responsável por inativar organismos patogênicos e indesejáveis por meio da adição de cloro ou outros desinfetantes. Também podem haver etapas adicionais como a adição de flúor para prevenção da cárie dentária, e da cal para controle do pH final da água (BRAGA, 2014).

Segundo Richter (2001), a limpeza das unidades de decantação ou flotação e a lavagem dos filtros são responsáveis por gerarem a maior parte dos resíduos nas ETAs, os quais são constituídos de água e sólidos em suspensão originalmente integrados na fonte de água, acrescidos a produtos resultantes dos reagentes aplicados nos processos de tratamento, além de microrganismos (RICHTER, 2001).

A escolha da tecnologia para tratamento da água mais adequada deve ser orientada conforme as características da água bruta, dos custos envolvidos, da

flexibilidade operacional, localização geográfica e características populacionais. Os resíduos de ETA têm suas características variadas de acordo com a qualidade da água bruta, com o tipo de divisão sólido-líquido empregada e controle operacional, sendo a concentração de sólido fator expressivo para suas análises (LIBÂNIO, 2016).

Os resíduos gerados a partir do tratamento de ciclo completo contém sólidos orgânicos e inorgânicos, algas, microrganismos, coloides, sais dissolvidos, além dos produtos químicos, os quais são adicionados durante o tratamento (DI BERNARDO, 2003). A massa retirada, em especial a parte retida nos decantadores e filtros, possui baixa biodegradabilidade, apresentando uma grande parcela de sólidos em sua totalidade, além de possuir patogenicidade e toxicidade (RICHTER, 2001).

As concentrações dos metais encontrados nos resíduos de ETA, na maioria das vezes, não condizem com os padrões de lançamento estipulados na legislação pertinente. Os metais mais característicos encontrados nesses resíduos são os de alumínio e ferro, derivados do uso de sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes no processo de tratamento de água, podendo também ser encontrados o chumbo, cobre, manganês e níquel em concentrações além dos limites legais estabelecidos para os resíduos gerados (SARAIVA SOARES *et al.*, 2020).

As características específicas dos resíduos de ETA estão totalmente ligadas ao seu tratamento, o que contribui para o estabelecimento de alternativas de aplicação apropriadas e ambientalmente adequadas para os resíduos. Seu teor de sólidos se torna um fator indispensável para manuseio e pode sofrer alterações conforme o tipo de unidade de decantação e filtração utilizadas (GUIMARÃES, 2007).

Apesar dos resíduos de ETA serem enquadrados como resíduos sólidos pela NBR 10.004, não devendo ser lançado *in natura* sem devido tratamento prévio, no Brasil, o problema ainda é recorrente, tendo esse método de atuação como consequência, significativos impactos ambientais (FERREIRA FILHO, 2017). O lançamento inadequado dos resíduos de ETA em corpos hídricos pode causar o aumento da quantidade de sólidos em suspensão, assoreamento, mudança de cor, aumento das concentrações de alumínio, aumento da demanda química do oxigênio, entre outros (SOBRINHO *et al.*, 2019).

Katayama *et al.* (2015) afirma que no Brasil as experiências realizadas quanto aos problemas relacionados aos resíduos de ETA são ainda superficiais e restritas e grande parte ainda é disposta em corpos hídricos, onde a minoria das estações têm se preocupado com o tratamento desses resíduos. Um fato que contribui para esse

quadro é que raramente operadores e projetistas das ETAs nacionais conseguem prever, de modo confiável, a massa e volume dos resíduos produzidos pelo tratamento da água bruta. Quando integradas aos projetos, as linhas de tratamento dos resíduos são sistematicamente mal dimensionadas, tendo como resultando sistemas disfuncionais e inadequados, tanto para o tratamento do resíduo, no que diz respeito a sua reutilização para algum uso benéfico, quanto para sua disposição final adequada (KATAYAMA *et al.*, 2015).

A constância da remoção dos resíduos e limpeza dos decantadores varia de acordo com o tipo utilizado pela ETA. Com a utilização do decantador convencional essa limpeza pode se estender por um período maior, em intervalos de até 6 meses, já com o decantador de alta taxa essa remoção pode ser feita diariamente ou semanalmente. A limpeza dos tanques de decantação (ou flotação) pode ser realizada de maneira contínua ou intermitente, o que interfere nas características do resíduo, uma vez que, quanto maior o tempo acumulado, maior a concentração de sólidos causados pelo adensamento (RICHTER, 2001; ACHON *et al.*, 2013).

O volume dos resíduos gerados pode variar também de acordo com a quantidade de água utilizada ao tipo de limpeza empregada. Com a limpeza manual há dificuldade de estimativa de volume, uma vez que é influenciada pela ação dos operadores. Caso seja feita de maneira mecanizada, ou se houver descargas diárias através de meio hidráulico, considera-se que a concentração de SST (Sólidos Suspensos Totais) pode variar de 5 a 15 g/L conforme a frequência e duração das descargas. O volume e concentração desses sólidos, além da qualidade do afluente e efluente, também depende do método de lavagem e operação dos filtros (DI BERNARDO *et al.*, 2008).

Em termos de volume, a lavagem dos filtros é a maior contribuinte na geração de resíduos. Se tratando da massa, a divisão sólido-líquido que acontece nas unidades de sedimentação ou flotação são mais significativos. A lavagem dos filtros pode ser realizada em curtos períodos de tempo, variando entre 24h e 72h, o que depende da qualidade da água decantada. A quantidade de sólidos existentes nesse resíduo não varia com a periodicidade de lavagem, visto que decorre da capacidade de acumulação do leito filtrante, a qual é uma característica fixa (DI BERNARDO *et al.*, 2008; RICHTER, 2001).

Januário *et al.* (2007) desenvolveram estudos sobre o planejamento e aspectos ambientais referentes aos resíduos de ETA na região metropolitana de São Paulo

(RMSP). Para a quantificação estimada do resíduo gerado, foi aplicada a fórmula de *Water Research Center* (WRC) a fim de determinar o balanço de massa das sete maiores Estações de Tratamento de Água da RMSP. Ao elaborar a estimativa de quantificação dos resíduos das ETAs foi possível observar que a variação mensal dessas quantidades está ligada a variação da dosagem de produtos químicos utilizados, o que influencia também na qualidade final da água tratada, e que a qualidade da água bruta varia de acordo com determinada época do ano, tendo sua turbidez aumentada durante as épocas mais chuvosas (JANUÁRIO *et al.*, 2007).

Foram verificados diferentes quantitativos de resíduos ao longo do período de um ano em cada ETA, observando uma maior produção durante o período chuvoso, época em que se tem a piora da qualidade da água bruta nos mananciais, sendo necessário a aplicação de quantidades maiores de coagulantes no processo de tratamento. Os autores apresentaram comparações da produção de resíduo gerado por metro cúbico de água tratada de todas as sete ETAs analisadas, apresentando também uma previsão de produção para o ano de 2025 (JANUÁRIO *et al.*, 2007).

Tabela 1 – Resumo dos quantitativos de resíduos gerados calculados pela fórmula da WRC para as ETAs da RMSP nos anos de 2003 e 2025

ETA	Vazão média 2003 (m ³ /s)	Vazão média 2025 (m ³ /s)	Resíduo gerado (g/m ³ água)	Produção de resíduo (base seca) (2003) - (t/dia)	Produção de resíduo (base seca) (2025) - (t/dia)
Guaraú	31,3	33,0	9,7	26,3	27,7
ABV	13,5	16,0	34,7	40,5	48,0
Taiapuê	9,6	18,0	21,8	18,2	33,9
Rio Grande	4,7	7,0	22,8	9,3	13,8
Casa Grande	3,9	4,0	13,1	4,4	4,5
Morro Grande	1,0	1,2	32,0	2,8	3,3
Baixo Cotia	0,9	1,0	59,7	4,6	5,2
TOTAL	64,9	80,2		106,1	136,4

Fonte: Januário *et al.* (2007).

Foi possível observar que a geração de resíduos das sete ETAs da RMSP em 2003 foi de 106,1 t/dia (base seca), podendo aumentar para 136,4 t/dia (base seca) no ano de 2025, com aumento de 28,6 %, acompanhando o crescimento da produção de água tratada. Nota-se também que nem sempre as ETAs de maior capacidade

hidráulica são as que geram quantidades maiores de resíduos, uma vez que essa geração depende diretamente da qualidade da água bruta (JANUÁRIO *et al.*, 2007).

Pereira *et al.* (2012) realizaram estudos visando a estimativa da produção de resíduos em uma ETA no município de Juiz de Fora (MG), de forma a obter uma equação multiparamétrica capaz de representar as variações referentes a qualidade da água e a adição de produtos químicos. A turbidez média mensal e a produção de sólidos desse estudo estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Produção calculada mensal de sólidos e turbidez média mensal

Mês	Produção de Sólidos (kg/mês)	Turbidez Média Mensal (uT)
Fevereiro	80596	35
Março	121748	49
Abril	66960	33
Maio	71215	19
Junho	46806	13
Julho	54879	17
Agosto	53743	13
Setembro	74910	16
Outubro	48410	22
Novembro	131998	51
Dezembro	161456	59

Fonte: Pereira *et al.* (2012).

Os autores constataram que a diferença na produção de sólidos entre o período chuvoso e o período de estiagem é em média de 40%. O valor máximo obtido foi no mês de dezembro, chegando a 161 toneladas de sólidos, sendo o valor mínimo estimado produzido no mês de junho (47 toneladas) (PEREIRA *et al.*, 2012). O estudo também constatou que a maior parcela de sólidos é proveniente dos SST existentes na água bruta, sendo responsável por 70 a 90% do total do resíduo produzido. Em segundo lugar se encontram os produtos provenientes do coagulante aplicado durante o processo, 10 a 30%, enquanto o Cal e o polímero não apresentam influência significativa na produção final. A partir das análises observou-se que a época mais preocupante, se tratando do gerenciamento do resíduo, é o período chuvoso, onde tem-se a turbidez da água dos corpos hídricos aumentada (PEREIRA *et al.*, 2012).

3.5 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE ETA

A busca por alternativas econômicas, tecnicamente viáveis e ambientalmente vantajosas de destinação final dos resíduos de ETA tem sido um grande desafio. Sua utilização benéfica pode ser considerada uma vantagem capaz de elevar a receita das empresas de saneamento, reduzindo principalmente, os custos e impactos ambientais (TSUTIYA e HIRATA, 2001). A utilização dos resíduos de ETA como matéria-prima é capaz de reduzir a quantidade de recursos naturais utilizados, deixando também de ocupar espaços nos aterros sanitários (HOPPEN, 2004).

Sendo assim, alguns métodos e tecnologias estão sendo estudadas quanto às possibilidades de reaproveitamento desses resíduos, a fim de minimizar os impactos causados ao meio ambiente a partir de seu gerenciamento incorreto. Dentre as características que distinguem os resíduos de ETA de outros resíduos sólidos está sua capacidade de suportar a vida vegetal e de retenção de água, além de conter ferro e alumínio (ANDRADE *et al.*, 2014).

Baseado nessas particularidades, podemos citar algumas alternativas e soluções referentes a seu reaproveitamento, como por exemplo, a aplicação em solos agrícolas, recuperação de áreas degradadas, fabricação de materiais de construção civil e cerâmicos, dentre outras possibilidades (TERTOLINO DA SILVA, 2021).

Compreender as características desse resíduo é essencial se tratando das alternativas de sua aplicação. Essas características variam entre ETAs e, de outro modo, sazonalmente em uma mesma ETA. A variável se deve a fatores como a geologia local e regional, a qualidade da água bruta, o tipo e quantidade de coagulante e demais substâncias químicas utilizadas para o tratamento da água, o processo de lavagem dos tanques e filtros, o processo de desaguamento do resíduo, dentre outros (HSIEH *et al.*, 1997; YUZHU, 1996 *apud* TSUGAWA E BOSCOV, 2021).

Algumas alternativas visam viabilizar o gerenciamento ambiental e econômico dos resíduos de ETA sugerindo seu reaproveitamento na construção civil como solução sustentável. A opção de reutilização se torna considerável, à medida que contribui para a redução dos custos relacionados ao seu descarte. Sua aplicação como agregado leve na construção civil vem ganhando destaque, em especial em estudos para sua utilização na fabricação de cimento (SANTOS *et al.*, 2018).

Segundo Richter (2001), os principais componentes do cimento podem ser encontrados nos resíduos de ETA (CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃), viabilizando a

substituição da matéria-prima para sua fabricação em determinadas proporções. A substituição pode ocorrer na fase de pré-homogeneização das matérias-primas, devendo sua umidade atingir o máximo de 50% (TSITUYA E HIRATA, 2001).

Araújo *et al.* (2021) estudaram a possibilidade da utilização dos resíduos de ETA como adições pozolânicas sendo incorporado ao cimento Portland, material que é amplamente utilizado na indústria da construção civil, aumentando seu potencial como matéria prima e contribuindo para sua destinação sustentável. O material foi caracterizado para avaliar seu potencial reativo por meio do índice de atividade pozolânica (IAP). Dessa forma, conclui-se que, das amostras “*in natura*” e calcinada, foi possível observar que a calcinação do resíduo é fundamental para que ele possa ser caracterizado como material pozolânico (ARAÚJO *et al.*, 2021).

Hagemann *et al.* (2019) destaca que nos ensaios realizados quanto a utilização do resíduo de ETA como substituto parcial de cimento Portland, o teor com maior resistência foi de 5%, estendendo o mesmo resultado para substituição parcial da areia, no teor de 3%. Os estudos também constataram uma redução do consumo de cimento (cerca de 2%) na medida em que é feito o aumento do teor do resíduo entre 0 a 7%, além de uma economia de 38,4% se utilizado 15% do resíduo e 7,5% de calcário. Perini *et al.* (2016) salienta algumas desvantagens quanto a essa substituição, dentre elas podemos destacar a resistência à compressão menor que a da amostra de referência, a presença de altas concentrações de matéria orgânica, antracito, carvão ativado e metais pesados, além de que, o uso do resíduo de ETA com concentração muito baixa ou muito alta, requer a adição de aditivos, gerando desvantagens econômicas.

Santos *et al.* (2018) estudam a possibilidade da utilização do resíduo de ETA calcinado como matéria-prima na produção de cimento geopolimérico, como material ligante. O resíduo calcinado a 750°C por 4h ou 6h se mostrou apto a ser utilizado como matéria-prima para a produção, tendo resultados satisfatórios quanto a resistência a compressão. Por conta de sua elevada umidade e matéria orgânica presentes, materiais produzidos à base do resíduo de ETA apresentam problemas em relação a porosidade, ocasionando fissuras e principalmente insuficiência no que diz respeito a resistência mecânica.

Ao utilizar para substituição 25% de resíduo e 75% metacaulim, teve-se 33,25 MPa, enquanto para adição de 15% de resíduo e 100% de metacaulim, o valor atingido foi de 52,46 MPa (valor mínimo de 20 MPa para obra). O geopolímero preparado com

10% do resíduo calcinado alcançou resistência à compressão maior que 50 MPa em 28 dias. Os resultados foram satisfatórios também para o teste de resistência à flexão, onde, para substituição com 10% de resíduo se obteve 7,31 MPa, e para adição com 10% de resíduo se obteve 10,37 MPa, apresentando ambas as duas, valor maior que 2 MPa para uma argamassa convencional (SANTOS *et al.*, 2018). Santos *et al.* (2018) destacaram que apesar dos resultados satisfatórios encontraram-se algumas desvantagens. Após a desmoldagem, a amostra apresentou diversas microfissuras, relacionadas provavelmente, à retração do material, apresentando também baixa resistência mecânica, tendo o surgimento de eflorescência. A porosidade também influenciou na resistência mecânica, e o surgimento de eflorescência foi observado quando o material era exposto à umidade (SANTOS *et al.*, 2018).

Coelho *et al.* (2015) estudaram a possibilidade de utilização do resíduo de ETA na fabricação de revestimento rodoviário. Os estudos comprovaram que as misturas dos solos com o resíduo podem ser utilizadas na camada de subleito de um pavimento. Por outro lado, houve a redução na resistência à compressão, resistência à tração na flexão e índices de vazios conforme o aumento do teor de resíduo adicionado, uma vez que quanto maior adição, maior a absorção de água.

Fadanelli e Wiechereck (2010) analisaram as características físicas, químicas e mineralógicas e fizeram ensaios em corpos de prova com diferentes concentrações do resíduo de ETA visando avaliar seu uso na composição de solo-cimento para pavimentação rodoviária. Através dos dados obtidos na análise granulométrica, os autores perceberam grande quantidade de areia no resíduo e no solo, mostrando-se apropriado para a mistura solo-cimento. No entanto, o resíduo apresentou caráter bastante siltoso, com partículas mais finas e conseqüentemente mais frágeis, tendo uma menor resistência ao cisalhamento. Para compensar tal fragilidade, pode ser necessário a adição de um maior teor de cimento, encarecendo o produto final (FADANELLI E WIECHERECK, 2010).

Para a utilização do resíduo de ETA para a produção de tijolos solo-cimento, a quantidade adicionada deve equivaler de 3 a 5%. Apesar de pequena, essa quantidade contribuiria para diminuição do volume descartado de forma incorreta. Com a incorporação do resíduo a 900°C, o material apresentou resistência e absorção satisfatória, além de baixo custo e elevada durabilidade em consequência de uma menor permeabilidade, proporcionando também, conforto térmico para a construção. Como desvantagens dessa aplicabilidade podemos destacar o limite de liquidez do

resíduo superior à norma, além de que, o material sozinho não pode ser utilizado para a confecção dos tijolos. A resistência a compressão também não foi atingida, sendo o reuso do resíduo limitado na quantidade. Quanto ao traço, a porcentagem acima de 7,5% não apresentou consistência mínima para formação do bloco através da prensa manual (RODRIGUES, 2015).

Martinez (2014; 2017) e Silva *et al.* (2008) comprovaram em seus estudos que os ensaios elaborados com a adição do resíduo de ETA para fabricação de concreto asfáltico são satisfatórios a norma. Foram feitas adições de 10, 20, 30 e 40% de resíduo, alcançando melhores resultados para adição de até 20%. Como vantagens, os autores destacam a perda de água e matéria orgânica com calcinação acima de 500°C no tempo de 45 minutos, resistência a tração com 75% de resíduo e 25% de cimento, o que equivale a 1 Mpa, além da viabilidade da substituição de cimento pelo resíduo, proporcionando ganho de resistência mecânica. A utilização do resíduo de ETA seco ao ar, ou a 100°C, não obteve resultados satisfatórios, causando reação da matéria orgânica com o asfalto, gerando efeito espuma e apresentando envelhecimento a curto prazo. Com a aplicação de temperaturas de 150 e 177°C, tendo a adição de 15% de resíduo seco ao ar durante 15 dias, os resultados apresentaram menor viscosidade. Com a aplicação de temperaturas de 500 a 800°C obteve-se menor valor de penetração. Os autores ainda chamam atenção para o não enrijecimento exagerado da mistura com o resíduo, uma vez que, se a camada do revestimento estiver fina, ele não absorverá a carga, ocasionando trincas (MARTINEZ, 2014; 2017; SILVA *et al.* 2008).

Araújo e Silveira (2017) e Fernandez *et al.* (2018) realizaram testes capazes de verificar a influência de diferentes porcentagens de resíduo de ETA (até 25%) para a fabricação de piso intertravado. Foi verificado que o resíduo seco obteve melhor trabalhabilidade em comparação ao úmido, onde os dois autores atestaram que o melhor percentual a ser adicionado ao produto foi de 5% (ARAÚJO E SILVEIRA, 2017; FERNANDEZ *et al.* 2018).

Os materiais utilizados para a produção de tijolos cerâmicos possuem composições físicas e químicas semelhantes às características encontradas nos resíduos de ETA. Os resíduos de ferro, alumínio e cloreto de polialumínio possuem propriedades físico-químicas que se assemelham a de argilas naturais e xistos utilizados para esta atividade. Por possuírem grande quantidade de argila, se tornam

ideais para a produção de peças cerâmicas, devendo-se atentar para os altos teores de cal (CORNWELL *et al.*, 2000 *apud* Andrade, 2005).

Em estudos realizados por Teixeira *et al.* (2002) verificou-se que dependendo das características do resíduo de ETA, da concentração aplicada e da temperatura de queima, sua adição à massa cerâmica torna-se inviável, piorando suas propriedades. No entanto, suas características permanecem dentro dos limites estipulados e aceitáveis para tijolos (TEIXEIRA *et al.*, 2002). Em contrapartida, nos documentos de AWWA (1992) *apud* Hoppen (2004), se afirma que a adição do resíduo de ETA como ingrediente no processo de fabricação do tijolo não gera impacto negativo a estrutura do produto, entretanto, em alguns casos, o custo de secagem e transporte podem inviabilizar economicamente essa possibilidade.

Segundo Andrade (2005), o sucesso ou falha da utilização do resíduo em peças cerâmicas depende de alguns fatores, como por exemplo a proximidade entre a indústria cerâmica e a ETA, das características químicas do resíduo, dos coagulantes e outros produtos químicos que são adicionados durante o tratamento da água, a aceitação do resíduo por parte das indústrias cerâmicas e os impactos operacionais que seu uso pode causar. No mais, com essa aplicação, o grau de compactação se torna menor, tornando mais fácil o processo de secagem, sendo a quantidade de água a ser utilizada na mistura, determinada de maneira a não causar danos na extrusora (ANDRADE, 2005).

Andrade (2005) destaca ainda que a composição granulométrica das massas de cerâmica cumpre papel essencial no processamento e propriedades dos diversos tipos de produtos gerados. A adição de materiais não-plásticos, como o pó de carvão e a areia, encontrados nos resíduos de ETA, provoca a alteração da granulometria das massas. Andrade (2005) explica que esse fator ocorre porque a areia e o pó de carvão constituem de partículas maiores que as encontradas nas argilas. Sendo assim, durante o processo, a variação da distribuição granulométrica e da plasticidade da massa acaba provocando alterações em seu comportamento.

As indústrias cerâmicas fazem o experimento para acrescentar o resíduo de ETA em duas etapas de produção, onde a primeira é feita ainda na jazida, sendo o método mais fácil para misturar o resíduo com as matérias primas naturais, e o segundo se caracteriza pela adição do resíduo na própria indústria. Ao fazer a mistura na jazida, o resíduo desaparece dentro do grande volume de argila, não apresentando nenhum efeito significativo quanto a qualidade do produto final. Quando a aplicação

ocorre na indústria, o trabalho é dificultado, uma vez que exige uma maior atenção por parte do operador, além de demandar locais para armazenamento dos resíduos que chegam da ETA (ANDRADE, 2005).

A umidade existente no resíduo de ETA é um fator importante para seu manuseio e incorporação no processo de fabricação dos materiais cerâmicos. Os fabricantes acabam por preferir tortas com teores de sólidos superiores a 20%, evitando o uso de resíduos com altos teores de compostos que possam causar expansão e fissuras ao produto final, como por exemplo, o antracito e o carvão ativado em pó. Também devem ser realizadas análises capazes de determinar se a presença de metais voláteis acontece em quantidade que possa, durante o processo de queima da cerâmica, se desprender e causar a poluição do ar (ANDRADE, 2005).

Ghizoni (2013) elaborou estudos sobre a aplicação do resíduo de ETA como matéria prima para confecção de pastilhas cerâmicas artesanais. Para que o estudo fosse realizado, o resíduo foi desidratado *in natura* com o auxílio de um filtro. Após sua secagem, foi misturado com cimento, areia, cal e argila, formando os traços necessários para a realização da pesquisa. Ao final, observou-se que as pastilhas cerâmicas onde foram utilizados de 10 a 15% de resíduo no traço obtiveram comportamento satisfatório com relação às características desejadas, destacando que a quantidade de aplicação ideal para que se obtenha uma pastilha de boa qualidade é 10% (GHIZONI, 2013).

Os estudos da aplicabilidade dos resíduos de ETA em massa cerâmica, verificaram que o resíduo desidratado pode ser utilizado principalmente em materiais cerâmicos que não possuem função estrutural, tendo como proporção aproximada 10% de resíduo em relação à massa de argila, não comprometendo assim, as propriedades físicas e mecânicas do material (COUTO, 2011).

A aplicação dos resíduos de ETA em solos agrícolas é tida como alternativa atraente, apresentando como resultados a melhoria da estrutura do solo, ajuste de pH, aumentando a capacidade de retenção de água e condições de aeração devido ao aumento do número de poros, sendo considerado também, um método de disposição final (FERREIRA *et al.*, 2017). O resíduo, além de conter em sua composição macro e micro nutrientes essenciais às plantas, possui substâncias similares às encontradas no solo e baixo risco de contaminação ambiental. Para essa utilização, é necessário determinar as características do resíduo a ser aplicado, além da exigência nutricional das culturas a serem cultivadas (FERREIRA *et al.*, 2017).

Segundo Andreoli (2001) a aplicação dos resíduos de ETA em solos agrícolas é considerada a alternativa mais promissora, isso devido à necessidade de produção do setor de alimentos, que exige quantidades cada vez maiores. O lançamento dos resíduos em aterro sanitário tende a reduzir, uma vez que às exigências ambientais para utilização dessa alternativa estão gradativamente mais restritas (ANDREOLI, 2001). Os resíduos gerados em ETAs do tipo FiME apresentam alto potencial para aplicação na recuperação de solos agrícolas, possuindo matéria orgânica e areia, devendo-se atentar à sua segurança em relação às características microbiológicas (SABOGAL PAZ, 2007).

Pesquisas estão sendo elaboradas a respeito da utilização do sulfato de alumínio como coagulante nas ETAs e os efeitos que este composto pode vir a causar ao solo (ANDRADE *et al.*, 2014). A presença de ferro, alumínio, e a baixa concentração de matéria orgânica pode prejudicar as plantas, tornando desinteressante esse método de aplicação (TSUTIYA E HIRATA, 2001). Seu uso como condicionadores do solo torna-o mais poroso, elevando a retenção de umidade e sua coesividade (RICHTER, 2001).

Os benefícios da aplicação em solos agrícolas relacionam-se ao desenvolvimento estrutural do solo, ajuste de pH, adição de traços minerais, aumento da capacidade de retenção de água e melhoria das condições de aeração (TSUTIYA E HIRATA, 2001). Os resíduos de ETA possuem elevado potencial agrícola e sua utilização para esse fim depende diretamente das características da água bruta e do tipo de coagulante utilizado durante o tratamento convencional. Uma das alternativas para que esses resíduos sejam utilizados na agricultura é a realização de um pré-tratamento, retirando espécies metálicas com potencial de toxicidade, enriquecendo-os com micro e macro-nutrientes aplicáveis em plantas (BOTERO *et al.*, 2009).

Ferreira *et al.* (2017) realizaram estudos para avaliar o desenvolvimento do capim Tifton 85 cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo adubado com resíduo de ETA. Para a realização da pesquisa foi utilizado o resíduo de decantadores de uma ETA de ciclo completo que utiliza sulfato ferroso clorado como coagulante. Ao final do estudo, o resíduo avaliado não apresentou potencial agrônômico e as dosagens aplicadas suplantaram os limites das substâncias inorgânicas preconizado pela CONAMA 375/2006. A adubação não cumpriu as exigências para um adequado desenvolvimento do capim, acarretando baixa produtividade e sintomas de toxicidade por conta do ferro e da quantidade excessiva de manganês. Sendo assim, para

estudos futuros, os autores sugerem que concomitante a adubação com resíduo de ETA seja realizada calagem e adubação complementar para corrigir o manganês e favorecer a produtividade do Capim Tifton 85 (FERREIRA *et al.*, 2017).

Oliveira *et al.* (2015) avaliaram as propriedades químicas e físicas de um latossolo após aplicação do resíduo proveniente de decantadores. Após todas as análises, os autores alegaram que o resíduo de ETA foi incapaz de elevar os teores das bases aos níveis recomendados para solos férteis, não sendo possível determinar a melhor dose agronômica, possuindo baixo poder neutralizante, não aumentando o pH, e conseqüentemente não deve ser aplicado ao solo como adubo ou corretivo agrícola. Entre os parâmetros que limitam a aplicação do resíduo de ETA no solo destacam-se o Mangânes e o Ferro, sendo que os teores naturalmente elevados do Fe no solo analisado podem ter causado o comprometimento da avaliação para esse metal. Entretanto, destaca-se a aplicação do resíduo de ETA para recuperação de áreas degradadas, uma vez que este não provocou salinização, atuando como agente cimentante e coagulante das partículas tornando-o mais poroso, o que contribui para melhor penetração das raízes, aeração, taxa de infiltração, difusão do oxigênio, atividade biológica, além da melhora de sua estrutura e desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Evidencia-se, quando destinado a agricultura, a necessidade da avaliação criteriosa dos resíduos de ETA quanto a disponibilidade de metais pesados e dosagem de aplicação, controlando assim, possíveis riscos ambientais (RAMALHO, 2015). Apesar de não existirem legislações específicas para esta disposição, alguns autores se baseiam na resolução do CONAMA 498/20, a qual define concentrações máximas de substâncias inorgânicas e patógenos dos resíduos gerados nas ETEs para a disposição em solos voltados à agricultura (CONAMA, 2020).

Montalvan e Boscov (2021) apresentaram estudos para avaliar o comportamento dos resíduos de ETA para compactação, fazendo sua aplicação no solo em diferentes proporções para analisar sua potencialidade para o uso em obras geotécnicas. Os resíduos utilizados foram coletados em duas ETAs distintas e ambas realizaram o desaguamento mediante centrífugas. Para preparação de misturas foram utilizados dois solos lateríticos, um arenoso e um argiloso. A incorporação dos resíduos aos solos provocou redução da massa específica seca máxima e elevação do teor de umidade satisfatório. A secagem prévia das misturas causou a recuperação dos parâmetros de compactação, e provavelmente esse efeito está relacionado à

perda irreversível da plasticidade do resíduo e cimentação de suas partículas finas. Concluiu-se que a compactação das misturas sofre influência pelo teor de resíduo e secagem prévia. Os resultados mostraram que no ponto de vista da compactação, as misturas solo-resíduo apresentaram potencial para uso em obras geotécnicas como revestimento e cobertura em aterros sanitários (MONTALVAN E BOSCOV, 2021).

Segundo Megda *et al.* (2005) o resíduo de ETA ainda pode ser utilizado para a produção de solo comercial e para suprir a falta de ferro em plantações de cítricos. Caso seja utilizado para a produção de solos comerciais, a concentração de sólidos está condicionada entre 40% a 60%, caso contrário, sua aplicação torna-se inviável (MEGDA *et al.*, 2005).

O resíduo de ETA também pode ser utilizado para cultivo de gramas. Essa alternativa causaria o aumento da aeração e a capacidade de retenção de líquido no solo fornecendo nutrientes adicionais às plantas, podendo ser feita sua aplicação em estado líquido na preparação do solo ou na fase de crescimento da grama. Outra alternativa é a aplicação na compostagem, mais especificamente aos sistemas de leiras, contribuindo para umidade, fornecimento de traços minerais e ajuste de pH. Em relação a dosagem de aplicação apropriada, demais estudos precisam ser realizados para que na fase de preparação do solo a umidade não exceda à adequada, e na fase de crescimento, os sólidos não cubram as folhas da grama prejudicando a fotossíntese (MEGDA *et al.*, 2005 e BITTENCOURT *et al.*, 2012).

Cruz (2018) realizou pesquisas para avaliação da incorporação do resíduo de ETA em substrato para produção de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica. Foram utilizadas duas espécies de plantas, sendo que o viveiro utilizado para aplicação já adotava no substrato 50% de resíduo proveniente de ETE e 50% de um solo adquirido comercialmente. Sendo assim, foram avaliadas possibilidades quanto a substituição do solo comercial por percentuais de resíduo de ETA, produzidos juntamente com percentuais de resíduo de ETE. Ao final do experimento, foi possível observar que nos traços contendo somente resíduo de ETA, ou este em elevada proporção na composição do substrato, não ocorreu boa evolução das mudas, apresentando baixa trabalhabilidade. Os traços contendo maior proporção de resíduo de ETE em relação ao resíduo de ETA garantiram evolução satisfatória das mudas. Quanto a análise química, foi observado maior concentração dos elementos alumínio e ferro nos insumos, em destaque no resíduo de ETA. Já o resíduo de ETE obteve maiores concentrações em relação aos macros e micronutrientes essenciais para o

crescimento das mudas, em destaque o Cálcio, Fósforo, Zinco e Cobre. A aplicação somente do resíduo de ETA não alcançaria resultados satisfatórios, visto que quanto maior sua quantidade no substrato, maior o teor de umidade dos traços (CRUZ, 2018).

Estudos realizados por Tertolino da Silva *et al.* (2021) avaliaram a utilização do resíduo de ETA como fonte de ferro em reações do tipo Fenton para redução de matéria orgânica e cor em meio aquoso. A ETA escolhida para coleta utiliza coagulante à base de sais férricos, contendo elevado teor de ferro. A pesquisa foi realizada com o corante azul de metileno (AM) como molécula modelo nas concentrações de 1.500 e 50 mg/L, sendo este, utilizado como fonte de matéria orgânica para a avaliação da eficiência do tratamento proposto. A amostra de resíduo foi retirada no tanque de decantação e a partir dos estudos preliminares foi comprovado que o tratamento do AM com o uso do resíduo de ETA como catalisador na reação Fenton se mostrou promissor quanto a remoção de matéria orgânica e cor, e tendo como resultado o elevado teor de ferro, o resíduo mostrou-se como fonte alternativa e promissora. Tertolino da Silva *et al.* (2019) em outro estudo, todavia utilizando o mesmo resíduo, destacaram alguns métodos interessantes para disposição final e reaproveitamento, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Custo de transporte para disposição final do lodo gerado de acordo com a distância dos possíveis destinos para aplicação

Tipo de tratamento	Local	Distância da ETA ao destino final (Km)	Valor do frete ao local²
Lançamento em ETE	ETE Barbosa Lage	7,77	R\$ 51,03
Aterro Sanitário	Bairro Dias Tavares	2,81	R\$ 18,46
Confecção de tijolo	Bairro Nova Era	5,03	R\$ 33,05
Disposição em viveiro	Bairro Humaitá	11,38	R\$ 74,77

Fonte: Tertolino da Silva *et al.* (2019).

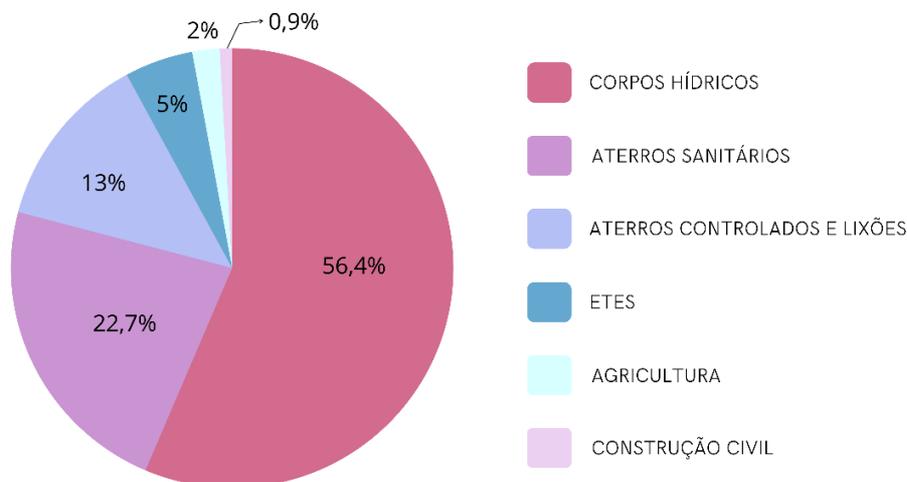
O melhor caminho apontado pelo estudo levando em consideração a distância da ETA seria o aterro sanitário, sendo necessário que o teor de sólido do resíduo seja maior que o teor de líquido, o que obrigará a estação tratar o resíduo antes de encaminhá-lo ao aterro. O lançamento em ETE seria uma boa opção devido ao uso de 100% do resíduo gerado, sendo necessária sua ampliação para tratamento de 100% do esgoto da região atendida, prevendo maior vazão para o recebimento do resíduo da ETA. Para confecção de tijolo solo-cimento, a quantidade de resíduo

gerado na ETA seria grande para a empresa poder suprir, uma vez que a demanda pela fabricação do produto não é de larga escala e o espaço físico da empresa é pequeno. Quanto ao cultivo de planta, ao considerar o preparo de 1 kg dos substratos, na melhor proporção de 50%, teria o uso de 0,5 kg de resíduo de ETA, podendo também ser utilizado na sementeira e até no preparo para venda como substrato (TERTOLINO DA SILVA *et al.*, 2019). Assim, o estudo chegou à conclusão que para a ETA seria indispensável o tratamento de secagem do resíduo gerado, onde a maior parte das alternativas demanda um teor de sólidos elevado. As duas maiores potencialidades de uso são na fabricação de tijolo e como substrato em mudas de viveiro, contudo são as mais onerosas e não utilizam 100% do resíduo. As alternativas de aterro sanitário e disposição em ETE são mais econômicas, porém geram um passivo, redução da vida útil do aterro e tratamento de volume maior de resíduos na ETE (TERTOLINO DA SILVA *et al.*, 2019).

3.6 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE ETA NO BRASIL

A disposição dos resíduos de ETA se tornou um grande desafio para a indústria de produção de água no Brasil e grande parte dos municípios brasileiros realizam o lançamento diretamente nos corpos hídricos sem devido tratamento prévio. Segundo o IBGE (2017) haviam 1.825 municípios geradores de resíduos no Brasil, onde desse total, cerca de 56,4% realizavam a disposição de seus resíduos em corpos hídricos sem tratamento, violando a lei que dispõe sobre o manejo adequado de resíduos sólidos e lançamento de efluentes. O segundo destino mais adotado é a disposição em aterro sanitário, recebendo 22,7% dos resíduos. As outras alternativas de disposição se dividem entre o lançamento em lixões ou aterros controlados (13%), disposição em ETEs (5%), reutilização na construção civil (0,9%) e agricultura (2%) (IBGE, 2017) (Figura 2).

Figura 2 – Destinos dados aos resíduos de ETA gerados no Brasil em 2017



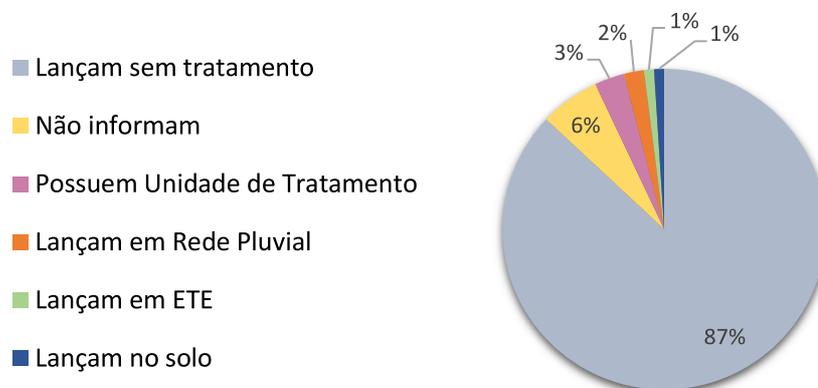
Fonte: IBGE (2017).

Por possuir grande umidade, para que o resíduo de ETA seja disposto de maneira adequada, se faz necessário soluções capazes de reduzir seu volume, o que consequentemente, também reduz os custos de seu transporte e disposição final, bem como, os riscos causados ao meio ambiente (RICHTER, 2001). Richter (2001) cita alguns métodos naturais e mecânicos que podem ser utilizados para redução do volume do resíduo, destacando-se as lagoas de lodo, leitos de secagem, filtros-prensa, centrífugas, prensa desaguadora e filtros a vácuo.

O transporte deve ser levado em consideração uma vez que, está diretamente relacionado a quantidade de sólidos existentes nos resíduos de ETA. A composição do resíduo obtido nos decantadores convencionais pode fazer com que o transporte seja difícil e dispendioso (NAIR E AHAMMED, 2015). Como alternativa de transporte podemos destacar o mecanismo de dutos, fazendo com que a perda de carga seja menor (DI BERNARDO *et al.*, 2012), tornando-se uma boa opção para resíduos provenientes de flocu-decantadores (MARTINS JÚNIOR *et al.*, 2021).

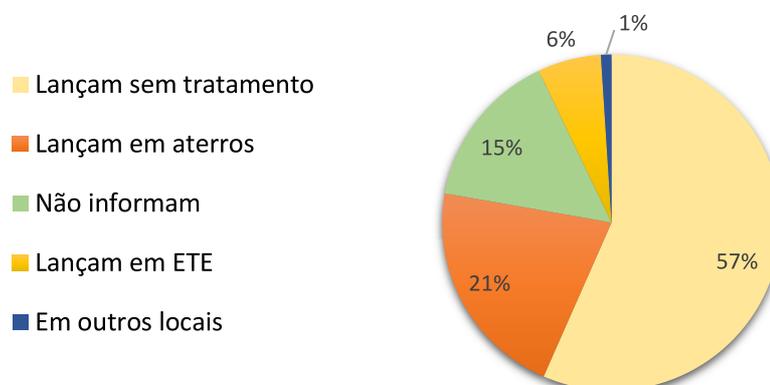
Alguns levantamentos foram realizados sobre a forma de destinação final dos resíduos de ETA no Brasil, mais especificamente nos municípios de Minas gerais e São Paulo (ACHON *et al.*, 2013).

Figura 3 – Destinação final dos resíduos de ETA em 175 municípios do estado de Minas Gerais



Fonte: Ministério Público do Estado de Minas Gerais (2009).

Figura 4 – Destinação final dos resíduos de ETA em municípios abastecidos pela Bacia PCJ em São Paulo



Fonte: Comitê das bacias de PCJ (2013).

Pode-se observar que nos municípios analisados de ambos os estados, grande parte dos resíduos é destinada sem a realização de um tratamento prévio. Do total de municípios analisados no estado de Minas Gerais, apenas 3% possui unidade de tratamento para seus resíduos, enquanto em São Paulo mais da metade dos municípios lançam os resíduos sem antes tratá-los (ACHON *et al.*, 2013).

Nos Estados Unidos 25% dos resíduos de ETA são utilizados na agricultura, sendo a alternativa mais adotadas para a disposição, seguido de disposição em rede de esgoto com 24%. Os aterros sanitários, tanto municipais como exclusivos, também

são utilizados (20 e 13% respectivamente), e mesmo sendo limitada a descarga em corpo d'água, acaba sendo uma alternativa de disposição em 11% dos casos (TSUTIYA E HIRATA, 2001).

A disposição dos resíduos de ETA diretamente nos corpos de águas superficiais é um método muito utilizado em diferentes países da América do Sul. Embora existam restrições para esse meio de atuação por parte das entidades de controle ambiental, esse método é tido como atrativo em função do baixo custo, uma vez que os custos implicados para o tratamento dos resíduos são elevados, somado a falta de estudos relacionados ao tema (RIVERA, 2001). Esse método de lançamento pode ser aplicado e permitido em determinadas condições, dependendo da permissão das autoridades locais em função das características e do volume do manancial onde os resíduos serão descarregados (RICHTER, 2001).

As principais restrições quanto à disposição em corpos hídricos são atribuídas aos coagulantes e outros produtos químicos adicionados à água nas ETAs. No caso das tecnologias de filtração em múltiplas etapas (FiME) essa restrição poderia não ser aplicada, visto que a água é tratada sem a utilização de produtos químicos. Neste caso, é feita a devolução dos materiais ao corpo hídrico, ainda que mais concentrados e com uma maior quantidade de microrganismos (SABOGAL PAZ, 2007).

Segundo Sabogal Paz (2007), o lançamento desordenado dos resíduos de ETA em corpos de água contribui para o aumento da concentração de metais tóxicos nos bentos, limita o teor de carbono disponível para alimentação de macro-invertebrados, e as altas concentrações de sólidos suspensos, diminuindo significativamente a luminosidade do meio, suprimindo a produtividade do fitoplâncton nas áreas próximas dos pontos de descarga.

Além do impacto nos corpos receptores, os resíduos de ETA também podem causar riscos à saúde humana devido à presença de agentes patogênicos e metais pesados em sua composição, podendo destacar também, problemas relacionados a visuais desagradáveis durante o período de lavagem de filtros ou limpeza dos decantadores nas ETAs, dificultando o uso da água à jusante como fonte de abastecimento para comunidades ou para o uso da irrigação (SABOGAL PAZ, 2007).

A disposição em aterros sanitários é uma prática conhecida e uma das mais adotadas. Contudo, as legislações cada vez mais restritivas, os altos custos relacionados ao transporte e disposição final, assim como, a carência por áreas adequadas em regiões com um alto nível de urbanização, têm feito com que

pesquisadores e técnicos busquem por soluções mais econômicas e inteligentes para o uso e disposição final dos resíduos de ETA (JANUÁRIO E FERREIRA FILHO, 2007).

O método é considerado seguro e ambientalmente adequado se projetado e operado de maneira correta seguindo as regulamentações das legislações ambientais vigentes. Em caso de aterros particulares ou municipais, deve-se levar em consideração os custos em relação ao transporte e disposição do resíduo, e em aterros exclusivos, os custos voltados para implantação, operação e transporte do resíduo até o local. Ressalta-se que o aterro, quando projetado inadequadamente, pode gerar graves impactos ambientais, associados principalmente à contaminação do lençol freático e do solo (SABOGAL PAZ, 2007).

Uma vantagem que a disposição em aterros sanitários apresenta é a transferência de responsabilidade de gerenciamento do resíduo para o aterro sanitário escolhido. Por outro lado, apresentam-se algumas desvantagens, como por exemplo, a necessidade da existência de unidades de adensamento dos resíduos na ETA, levando em consideração a necessidade de desaguamento para atingir a concentração de sólidos necessária para disposição, além dos elevados custos para transporte e a incerteza sobre o gerenciamento correto do resíduo por parte do aterro sanitário (JANUÁRIO e FERREIRA FILHO, 2007).

Ao adotar o meio de disposição em aterro sanitário, a necessidade de desaguamento do resíduo é motivada pelo seu teor de sólidos, além de sua elevada plasticidade, baixa permeabilidade à água, baixa resistência ao cisalhamento e grande compressibilidade e tixotropia (URBAN *et al.*, 2019). É necessário que a concentração de sólidos esteja acima de 25% para facilitar a logística, reduzindo também os custos com transporte (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Apesar de ser considerada viável e possuir regulamentação pelas legislações ambientais vigentes, o método de disposição final em aterro sanitário, além de demandar custos elevados, contrapõe ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que rege por possibilidades de reaproveitamento dos resíduos antes de sua destinação final ambientalmente adequada. Neste caso, torna-se importante a apresentação de iniciativas para utilização dos mesmos, atendendo as atribuições referentes a economia circular, contribuindo assim, para conservação e preservação do meio ambiente (BOINA E BELLOTTI, 2021).

Os resíduos de ETA também podem ser aplicados como cobertura de aterros sanitários, atuando como uma camada de solo (ANDREOLI, 2001). Segundo Bidone

et al. (2001), na Inglaterra foram realizadas experiências de codisposição utilizando resíduos industriais com concentrações de metais duas vezes maiores que as encontradas em resíduos domésticos. Com os estudos foi possível concluir que não houveram alterações significativas na qualidade dos líquidos percolados, sendo recomendado que o resíduo apresente teor de sólidos acima de 25% para sua aplicação (BIDONE *et al.*, 2001).

Para disposição em áreas degradadas devem ser feitas análises para a identificação dos impactos causados ao solo e as plantas. Os compostos em maior proporção nos resíduos de ETA como os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, argilas silicatadas e matéria orgânica, também são constituintes de solo. No entanto, para que esta prática seja considerada uma alternativa viável, faz-se necessário comprovar que não cause impactos negativos para o solo. As avaliações quanto ao efeito do alumínio também são necessárias, pois o composto pode reduzir a disponibilidade de fósforo às plantas e/ou, se usado em grande quantidade, causar efeito tóxico às plantas cultivadas (BITTENCOURT *et al.*, 2012).

A disposição final no solo é uma possibilidade promissora e que pode também ser considerada um meio de reaproveitamento, sendo citada com maiores detalhes no item 3.4 juntamente com outras opções de aplicação, como por exemplo, a aplicação em solos agrícolas, para compactação e cobertura de aterros sanitários (FERREIRA *et al.*, 2017; MONTALVAN E BOSCOV, 2021). Os resíduos de ETA contribuem para elevação dos teores de macronutrientes e pH do solo, porém, em doses elevadas, pode causar sua salinidade. Sendo assim, sua aplicação deve estar associada a um resíduo orgânico, como por exemplo, composto de serragem e esterco bovino (TEIXEIRA *et al.*, 2005). Destaca-se os resíduos de ETEs devido ao elevado potencial agrônômico, rico em matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo (BITTENCOURT *et al.*, 2012).

Um outro método para disposição dos resíduos de ETA, adotados em alguns países da Europa e dos Estados Unidos, é o lançamento em ETEs, por meio da rede coletora de esgoto ou por meio de transporte por caminhão (RIVERA, 2001). Essa alternativa torna-se atraente por eliminar a necessidade de implantação de um sistema de tratamento nas ETAs, realizando a transferência do gerenciamento do resíduo para a administração das ETEs, no mais, quando o gerenciamento não existe, as condições de descarga no corpo receptor são agravadas (SABOGAL PAZ, 2007).

Para essa opção de lançamento, fatores econômicos e logísticos devem ser levados em consideração se tratando do transporte do resíduo, devendo ser observado a existência de ETEs nas proximidades com condições técnicas adequadas para receber o material (JANUÁRIO E FERREIRA FILHO, 2007). São necessárias também análises criteriosas capazes de avaliar as possíveis interferências que podem ocorrer nas unidades da ETE em razão das características do resíduo gerado e do incremento da vazão (ANDRADE *et al.*, 2014).

As ETEs também geram resíduos que devem ser dispostos adequadamente, e para que a descarga do resíduo de ETA seja feita, é permitido uma concentração de até 8% de sólidos (RICHTER, 2001). Esse método de disposição, conseqüentemente, aumentaria as atividades e custos na operação e manutenção da ETE receptora (SABOGAL PAZ, 2007). Esse método de disposição pode trazer alguns efeitos positivos para a ETE, como por exemplo, contribuir para o controle de H₂S, aumentar a eficiência dos decantadores primários e contribuir para remoção de fósforo. Deve-se destacar que os coletores secundários, primários, interceptores e emissários necessitam ser cuidadosamente avaliados, evitando obstruções recorrentes (TSUTYIA E HIRATA, 2001; SABOGAL PAZ, 2007).

O método de incineração não é muito utilizado no Brasil por conta de sua complexidade e alto custo, podendo atingir valores de R\$2.000/ton. Essa técnica não é vista como um recurso de muita eficácia, tendo como maior preocupação durante seu processo, à poluição atmosférica e a disposição final adequada das cinzas geradas. O método consiste em um processo que destrói as substâncias orgânicas presentes no resíduo de ETA através de combustão controlada, podendo ser aplicável ao resíduo previamente adensado, desaguado a um teor de sólidos mínimo de 25% (TSUTYIA E HIRATA, 2001; JANUÁRIO E FERREIRA FILHO, 2007).

Em contrapartida, a técnica de incineração apesar de dispendiosa, possui algumas vantagens. Esse método independe das características climáticas da região para ser aplicado, necessitando de uma área de implantação menor se comparada ao sistema de secagem natural, sendo considerada uma alternativa atraente para resíduos contaminados, como o de ferro e alumínio, tendo uma redução de até 85% do peso e até 95% do volume, podendo ser utilizado posteriormente em cobertura para aterros e matéria-prima na construção (JANUÁRIO E FERREIRA FILHO, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Tendo como finalidade a obtenção de dados, possibilitando uma visão geral sobre o gerenciamento dos resíduos provenientes das Estações de Tratamento de Água localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, bem como, das alternativas possíveis para o reaproveitamento e a destinação final adequada dos mesmos, a dissertação será dividida em duas principais etapas, as quais serão descritas a seguir.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ETAS PRESENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A partir do recorte da área de estudo foi realizada uma busca por dados referentes às Estações de Tratamento de Água pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. As cidades pequenas possuem questões relacionadas à precariedade de infraestrutura urbana no que diz respeito ao saneamento básico, problema atrelado à dificuldade dos entes públicos quanto a realização de projetos que possibilitem a universalização desses serviços (CORREIA *et al.*, 2019).

Segundo Spósito e Silva (2012), no Brasil existe uma menor preocupação com núcleos urbanos com menos de 20.000 habitantes, os quais são considerados cidades pequenas, situação evidenciada quando esses não são favorecidos pelo Estatuto da Cidade quanto a exigência de instrumentos de planejamento urbano ou de desenvolvimento econômico. Tomando esse fato como base, para iniciar as análises na Bacia Hidrográfica, foram selecionados municípios com população igual ou superior a 20.000 habitantes, levando em consideração a precariedade no setor de saneamento básico e escassez de informações e dados quanto ao tema, principalmente se tratando dos municípios que não se enquadram nessa categoria.

Como fonte principal para coleta de informações referentes às ETAs podemos destacar os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). Conforme a Tabela 4, foram consultados 51 PMSB, os quais serviram como base para extração de dados, além de consultas realizadas em Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, Informativos Anuais sobre a Qualidade da Água distribuída disponibilizados pelas companhias de saneamento básico responsáveis por cada estado ou município, Relatórios de

Fiscalização e Plano De Gestão dos Serviços de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário.

Tabela 4 – Fontes consultadas para coleta de dados e informações

FONTES CONSULTADAS	RJ	MG	SP	TOTAL
Planos Municipais de Saneamento Básico	29	07	15	51
Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário	08	-	-	08
Informativos Anuais Sobre a Qualidade da Água	02	01	04	07
Relatórios de Fiscalização	01	06	-	07
Plano De Gestão dos Serviços de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário	-	01	-	01
Total de fontes consultadas	40	15	19	74

Fonte: Apêndice A – Quadro 7

Realizaram-se buscas em outras fontes de dados, tal como, no banco de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no site do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) e no site da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). No IBGE (2017), foi possível ter acesso à quantidade de ETAs existentes em cada município, porém, não se obteve informações a respeito dos resíduos gerados. No SNIS (2022) e ANA (2022) o banco de dados encontrado era escasso e/ou desatualizado, não sendo possível encontrar informações relevantes quanto às Estações de Tratamento de Água, bem como, os resíduos gerados. As informações referentes aos dados gerais e caracterização da área de estudo foram acessadas e extraídas através do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica (AGEVAP, 2021).

Deste modo, após a identificação das ETAs por meio dos documentos consultados deu-se início ao mapeamento da área utilizando o programa de georreferenciamento ArcGis. Com o auxílio do software e das buscas feitas através do *Google Maps*, as ETAs foram localizadas, demarcadas e georreferenciadas, classificando-as a seguir com base na tipologia de tratamento adotada para potabilidade da água, identificando a partir daí se ocorre ou não a geração de resíduos por parte dessas estações, sendo levantado também, se é realizado o tratamento dos mesmos. As informações coletadas encontram-se listadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipo de tratamento adotado pela ETA, tipos de resíduos gerados e informações sobre o tratamento dos resíduos

Tratamento adotado pela ETA	Tipos dos resíduos gerados	Tratamento dos resíduos gerados
Decantação	Lodo de Decantador	1. Trata os resíduos gerados 2. Não trata os resíduos gerados 3. Não disponibiliza informações quando ao tratamento dos resíduos gerados
Filtração	Água de Lavagem dos Filtros	
Decantação + Filtração	Ambos os resíduos	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Através dos documentos consultados citados na Tabela 4, além dos dados referentes ao tratamento dos resíduos por parte de cada estação, também foram coletados dados referentes às localizações, operadores responsáveis pela prestação de serviço de abastecimento de água potável de cada município, e respectivas vazões adotadas por cada ETA analisada.

O mapeamento preliminar foi utilizado para início das análises quanto às ETAs encontradas na Bacia Hidrográfica e a partir dele, foram sugeridos meios para reaproveitamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos gerados. Os mapas inicialmente gerados são descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Mapas gerados para análise da situação referente às ETAs encontradas e mapeadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Mapas Gerados – Análise das ETAs presentes na Bacia Hidrográfica	
Mapa 01	ETAs identificadas e mapeadas na Bacia Hidrográfica.
Mapa 02	Classificação das ETAs como convencionais, compactas e simplificadas.
Mapa 03	Demarcação das ETAs geradoras de resíduos na Bacia Hidrográfica, bem como, identificação dos tipos de resíduos gerados por cada ETA.
Mapa 04	Informações quanto ao tratamento dos resíduos das ETAs geradoras.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.2 REAPROVEITAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE ETA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

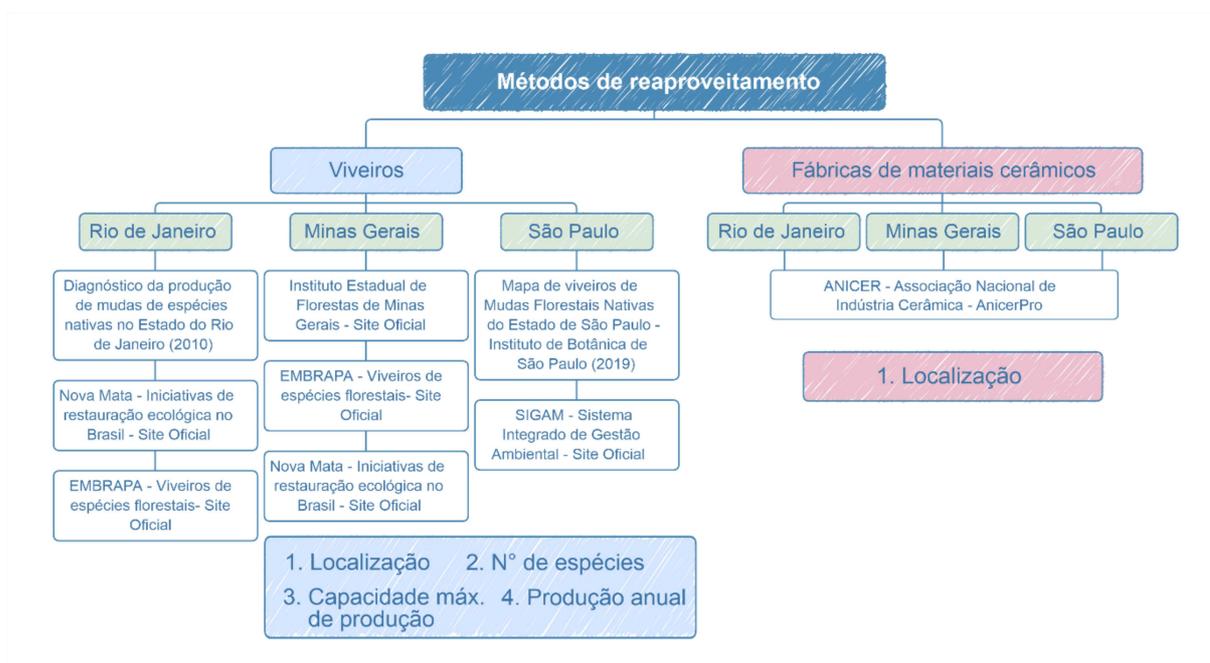
Levando em consideração o exposto no art. 9º da Lei de PNRS, onde prevê que, “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”, e sendo os resíduos de ETA classificados como resíduos sólidos, torna-se obrigatório sua destinação ambientalmente adequada, priorizando sua redução, reuso e reciclagem.

Desta forma, foram mapeados destinos visando o reaproveitamento e a disposição ambientalmente adequada dos resíduos de ETA gerados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. As buscas por estes destinos foram feitas nos mesmos municípios selecionados para a realização do mapeamento das ETAs, ou seja, em municípios com população igual ou superior a 20.000 habitantes. Deve-se ressaltar que os aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos de cada Estação de Tratamento de Água foram levados em consideração para cada aplicabilidade, tendo como um dos principais critérios para esta escolha a distância entre a ETA geradora dos resíduos e o método escolhido.

Tendo em vista a adoção de medidas preventivas e resolutivas quanto ao manejo e disposição correta dos resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica e que a não observância da problemática trará um agravamento gradativo em seu quadro atual, foram mapeados como formas de reaproveitamento os viveiros e fábricas de materiais cerâmicos. Quanto aos meios de disposição final ambientalmente adequada, foram mapeados os aterros sanitários e ETEs.

Para a coleta de informações quanto aos métodos de reaproveitamento dos resíduos, para conhecimento dos viveiros presentes foram consultados diferentes bancos de dados para os três estados que abrangem a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, tendo em vista que estes possuem organizações distintas que agem diretamente nessa temática. Para a identificação das fábricas de materiais cerâmicos em ambos os estados foi utilizado o banco de dados da Anicer (Associação Nacional de Indústria Cerâmica), denominado “AnicerPRO”. A Figura 5 e o Quadro 3 apresentam as fontes consultadas e informações coletadas para ambos os métodos de reaproveitamento.

Figura 5 – Organograma de fontes consultadas e informações coletadas quanto aos métodos de reaproveitamento sugeridos



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quadro 3 - Fontes consultadas e links de acesso utilizados para buscas quanto aos métodos de reaproveitamento sugeridos

Métodos de Reaproveitamento		Fontes Consultadas	Links de acesso
Viveiros	Rio de Janeiro	Diagnóstico da produção de mudas de espécies nativas no Estado do Rio de Janeiro - 2010	https://www.rsc.org.br/files/legislacao/diagnostico_mudas-RJ.pdf
		Nova Mata - Iniciativas de restauração ecológica no Brasil	https://novamata.org/
		Viveiros de espécies florestais – EMBRAPA	https://www.embrapa.br/en/codigo-florestal/viveiros-de-especies-florestais
	Minas Gerais	Instituto Estadual de Florestas	http://www.ief.mg.gov.br/unidades-regionais-do-ief
		Nova Mata - Iniciativas de restauração ecológica no Brasil	https://novamata.org/
		Viveiros de espécies florestais – EMBRAPA	https://www.embrapa.br/en/codigo-florestal/viveiros-de-especies-florestais
	São Paulo	Instituto de Botânica, 2019	https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/cerad/viveiros-do-estado/

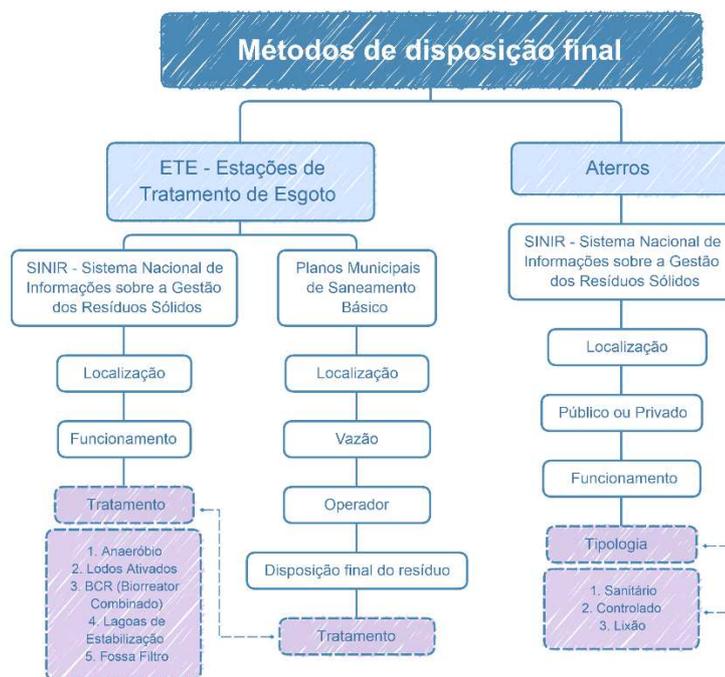
		SIGAM - Sistema Integrado de Gestão Ambiental	https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/Produtos%20Tecnicos/Mapas_viveiros.pdf
Fábricas de materiais cerâmicos	Rio de Janeiro	ANICER – Associação Nacional de Indústria cerâmica – AnicerPro	http://anicerpro.com.br/2018/07/02/sindicercampos-de-goytacazes-rj-lista-de-socios/
			http://anicerpro.com.br/2018/07/02/sindicermedio-vale-paraiba-rj-lista-de-socios/
			http://anicerpro.com.br/2018/07/02/sindicerrj-lista-de-socios/
	Minas Gerais		http://anicerpro.com.br/2018/07/02/sindicermg-lista-de-socios/
	São Paulo		http://anicerpro.com.br/2018/07/02/acervir-lista-de-socios/

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Se tratando dos métodos de disposição final ambientalmente adequados, para identifica-los foi utilizado o banco de dados do SINIR (2019) (Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos), sendo identificados os aterros sanitários, controlados e lixões. Para coleta de informações quanto às ETEs, além do banco de dados do SINIR (2019) também foram consultados os mesmos documentos utilizados para identificação das ETAs (Tabela 1), tendo como principal informação a ser coletada o processo adotado para tratamento do efluente de cada ETE, sendo possível a partir daí, analisar a viabilidade e compatibilidade quanto a utilização deste método para disposição dos resíduos gerados nas ETAs.

Para a disposição dos resíduos de ETA em ETEs, tendo em vista estudos elaborados por Scalize (2003), Scalize *et al.* (2014), Sena (2011) e Nair e Ahammed (2015) quanto a viabilidade de utilização desse método, serão consideradas as ETEs que utilizam para o tratamento de seus efluentes os processos anaeróbio, de lodos ativados e lagoas de estabilização. Para o método de disposição em aterro, o trabalho irá considerar como possibilidade a aplicação em aterros sanitários, tendo em vista que esta é uma alternativa tida como ambientalmente adequada para a disposição de resíduos sólidos. Para que esse método de aplicação seja fundamentado, os critérios geotécnicos quanto impermeabilização devem ser obedecidos, como a distribuição de frações granulométricas adequadas e baixa permeabilidade, devendo-se atentar principalmente ao potencial poluidor do lixiviado (GONÇALVES *et al.*, 2017). A Figura 6 e o Quadro 4 apresentam os tipos de informações coletadas, bem como, as fontes consultadas para a coleta.

Figura 6 – Organograma de fontes consultadas e informações coletadas quanto aos meios de disposição final ambientalmente adequados sugeridos



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quadro 4 - Fontes consultadas e links de acesso utilizados para buscas quanto aos meios de disposição final sugeridos

Métodos de disposição final		Fontes Consultadas	Links de acesso
ETEs	Rio de Janeiro	Planos Municipais de Saneamento Básico SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos	Apêndice A – Quadro 7 https://sinir.gov.br/mapas/gestao-residuo-solido/
	Minas Gerais		
	São Paulo		
Aterros	Rio de Janeiro	SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos	https://sinir.gov.br/mapas/gestao-residuo-solido/
	Minas Gerais		
	São Paulo		

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tendo em vista a dificuldade de transporte dos resíduos de ETA, bem como os custos relacionados para sua efetivação, a distância entre a ETA geradora dos resíduos e o destino escolhido é um critério primordial a ser observado. Para que o

reaproveitamento e a disposição final sejam feitos de maneira adequada, faz-se necessário que suas características sejam observadas e que técnicas para que seu condicionamento, sedimentação e desidratação sejam aplicadas, estando em conformidade com a NBR 10.004. Para análise quanto aos quatro métodos de aplicação sugeridos para os resíduos de ETA produzidos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, foram gerados os mapas listados no Quadro 5.

Quadro 5 - Mapas gerados para análise dos métodos de reaproveitamento e disposição final dos resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Mapas Gerados – Análise dos métodos de reaproveitando e disposição final dos resíduos de ETA gerados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul	
Mapa 05	Municípios analisados x Opções disponíveis para aplicação dos resíduos gerados
Mapa 06	Possibilidades quanto às opções disponíveis para aplicação dos resíduos de ETA nos municípios analisados

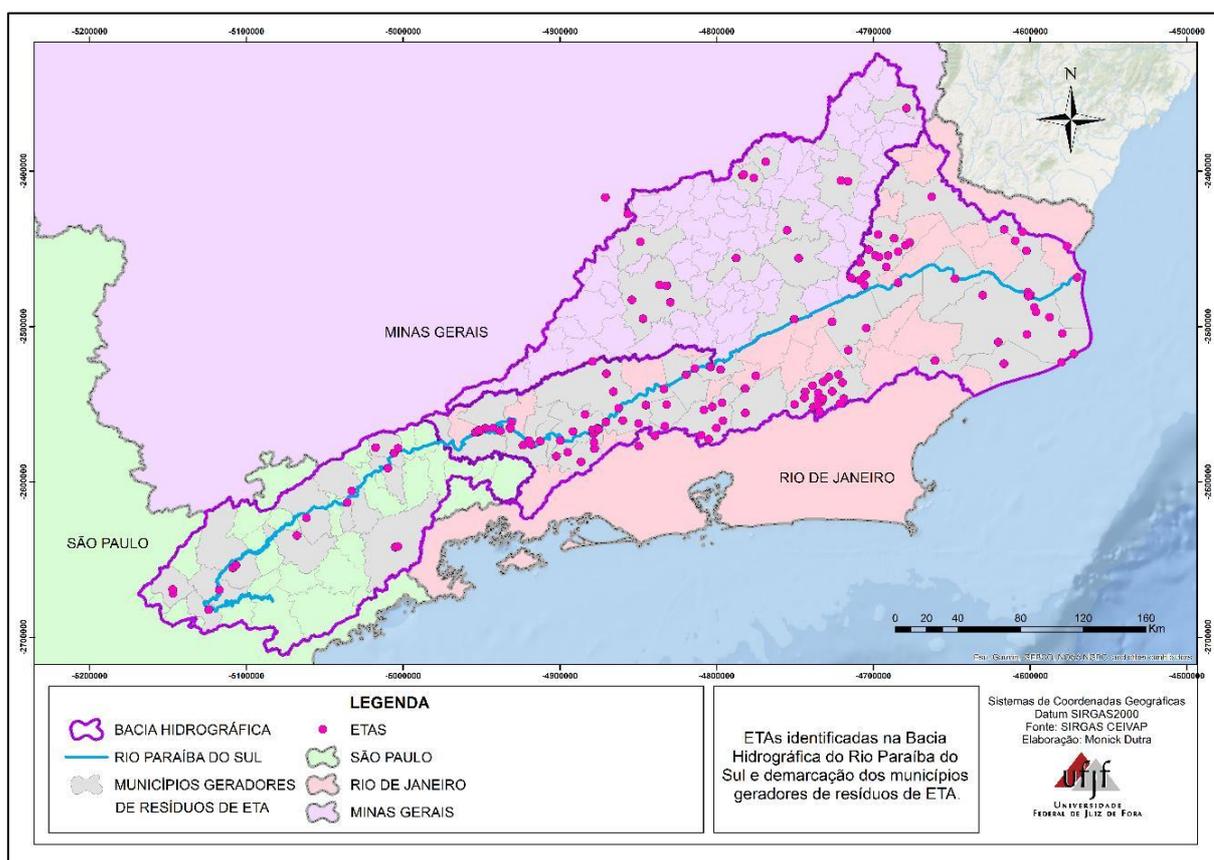
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Após as análises, foi possível identificar as possibilidades de aplicação para os resíduos de ETA nos municípios analisados na Bacia Hidrográfica, para posteriormente fazer o cruzamento de informações quanto a estas sugestões e as estações consideradas geradoras. Posto isso, foram avaliadas as distâncias de cada possível destino às estações para escolha do mais adequado, tornando possível também, uma análise quanto ao impacto em termos de redução da contaminação dos corpos hídricos caso essas opções de reaproveitamento e destinação final fossem adotadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a seleção de localidades com população igual ou superior a 20.000 habitantes, do total de 184 municípios presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP, 2021), totalizaram-se 57 a serem estudados. Deste total, 50 foram identificados como geradores de resíduos de ETA, localizando-se 153 estações (Figura 7), das quais 117 pertencem ao estado do Rio de Janeiro, 20 pertencentes ao estado de Minas Gerais e 16 localizadas no estado de São Paulo.

Figura 7 – Demarcação das ETAs identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e dos municípios considerados geradores de resíduos de ETA, 2022



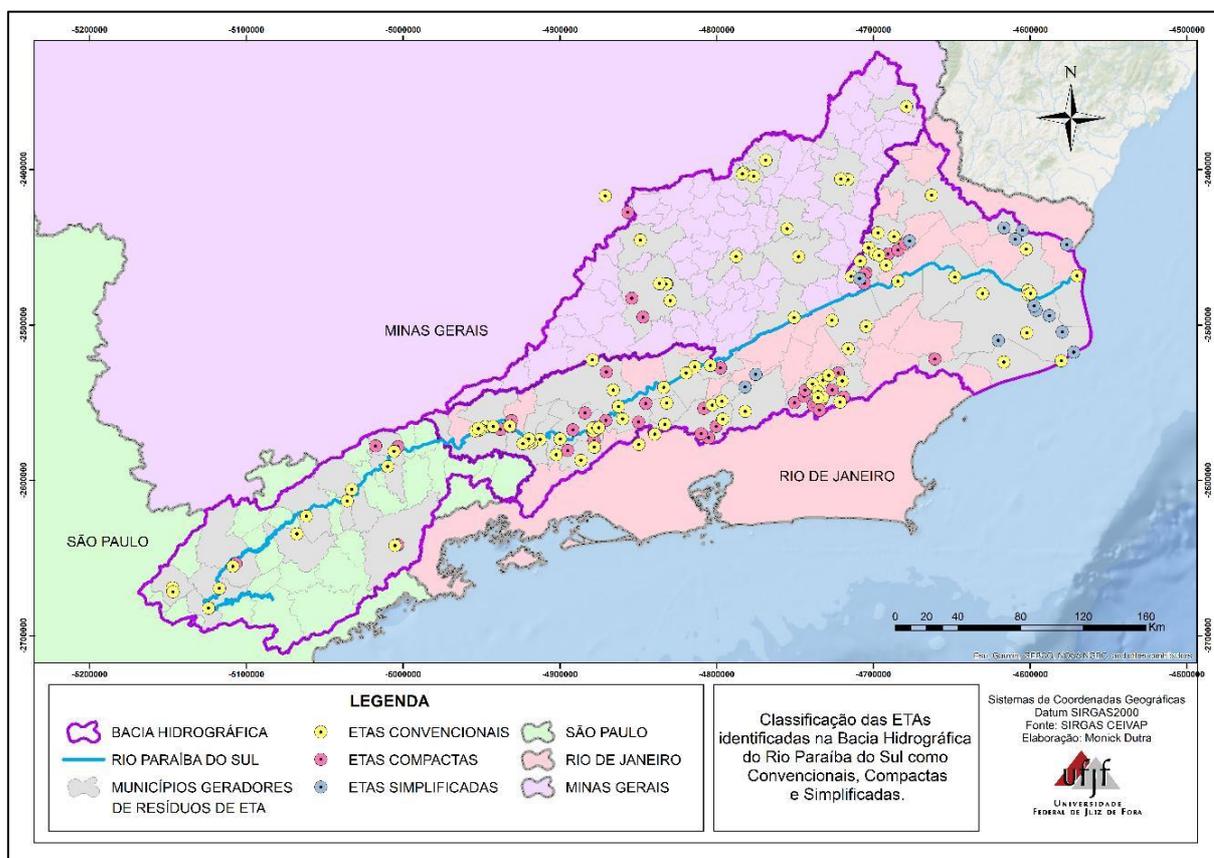
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Foi observado uma maior concentração de ETAs na área que abrange a região metropolitana do Rio de Janeiro. O Rio Paraíba do Sul é tido como principal manancial de abastecimento para essa área e se destaca por utilizar seus afluentes como corpos receptores para diluição de rejeitos, sendo o quadro agravado pela ausência de tratamento dos esgotos domésticos na maioria das cidades da região, acarretando a

degradação acelerada da qualidade dos recursos hídricos e riscos à saúde da população abastecida. Dados atuais quanto ao quadro da Bacia Hidrográfica indicam que de 82,3% de sua população urbana total, 82,02% são servidos por rede coletora e apenas 17,6% têm esgotos tratados, destacando-se as parcelas fluminense e mineira, onde o percentual de tratamento é inferior a 12,0%. (AGEVAP, 2021).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 60,14% das Estações de Tratamento de Água estudadas são do tipo convencional que utilizam a tecnologia denominada ciclo completo, gerando resíduos tanto nos decantadores quanto na operação de lavagem dos filtros. As demais são distribuídas em ETAs compactas (30,72%), as quais podem incluir o ciclo completo ou utilizar apenas unidades como a filtração rápida, flotação e clarificador, dispensando a fase de decantação, e ETAs simplificadas (9,14%), as quais possuem apenas desinfecção por cloração (Figura 8).

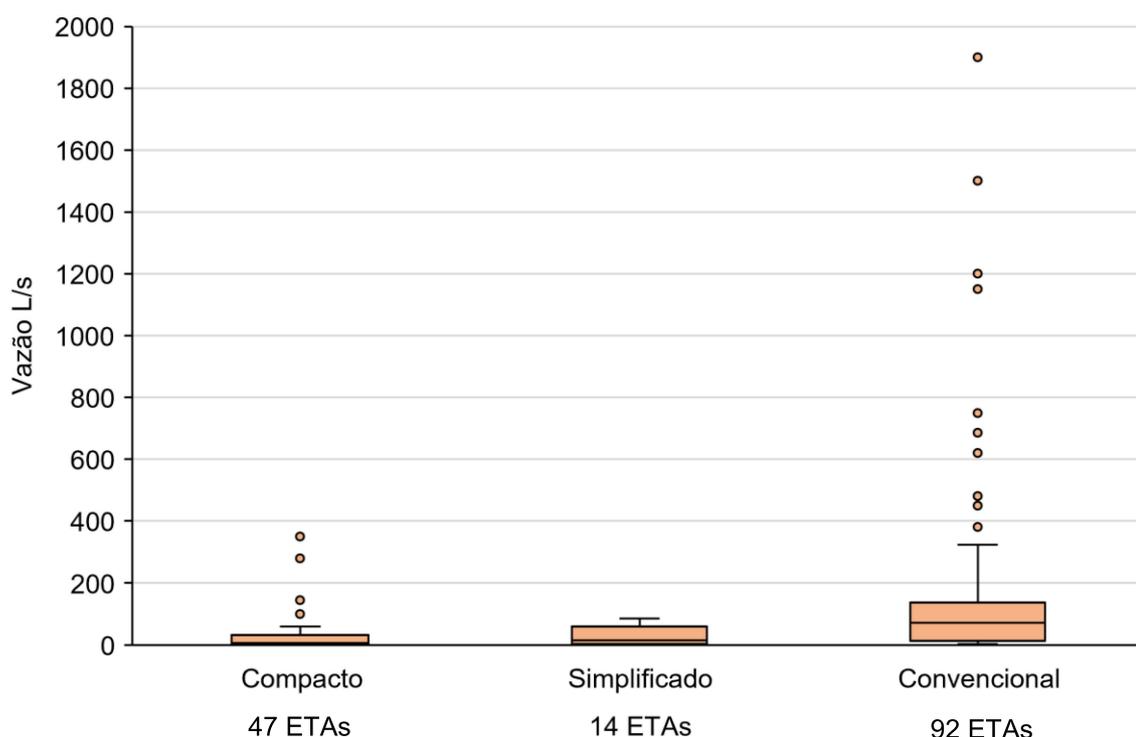
Figura 8 – Classificação das ETAs identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul como convencionais, compactas e simplificadas, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As estações identificadas possuem em média vazões inferiores a 130 L/s, sendo consideradas ETAs de pequeno porte. As ETAs compactas analisadas possuem em geral menores vazões se comparadas às convencionais, tendo 50% das vazões inferiores a 6 L/s, sendo a maior vazão encontrada, para esse tipo, a de 350 L/s. As ETAs identificadas como simplificadas possuem valores variados de vazões, onde 50% possuem vazões de pelo menos 14 L/s, sendo a maior encontrada de 85 L/s. Quanto às ETAs convencionais, as quais são predominantes na Bacia Hidrográfica, 50% possuem vazões de até 72 L/s, tendo 25% das vazões superiores a 137 L/s. Foram identificadas apenas cinco estações com vazões superiores a 1000 L/s, estando três localizadas no estado de São Paulo, as quais possuem as respectivas vazões: 1150 L/s, 1500 L/s e 1900 L/s, e duas no estado do Rio de Janeiro, ambas com vazões de 1200 L/s (Figura 9).

Figura 9 – Vazões das ETAs identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul conforme tratamento utilizado

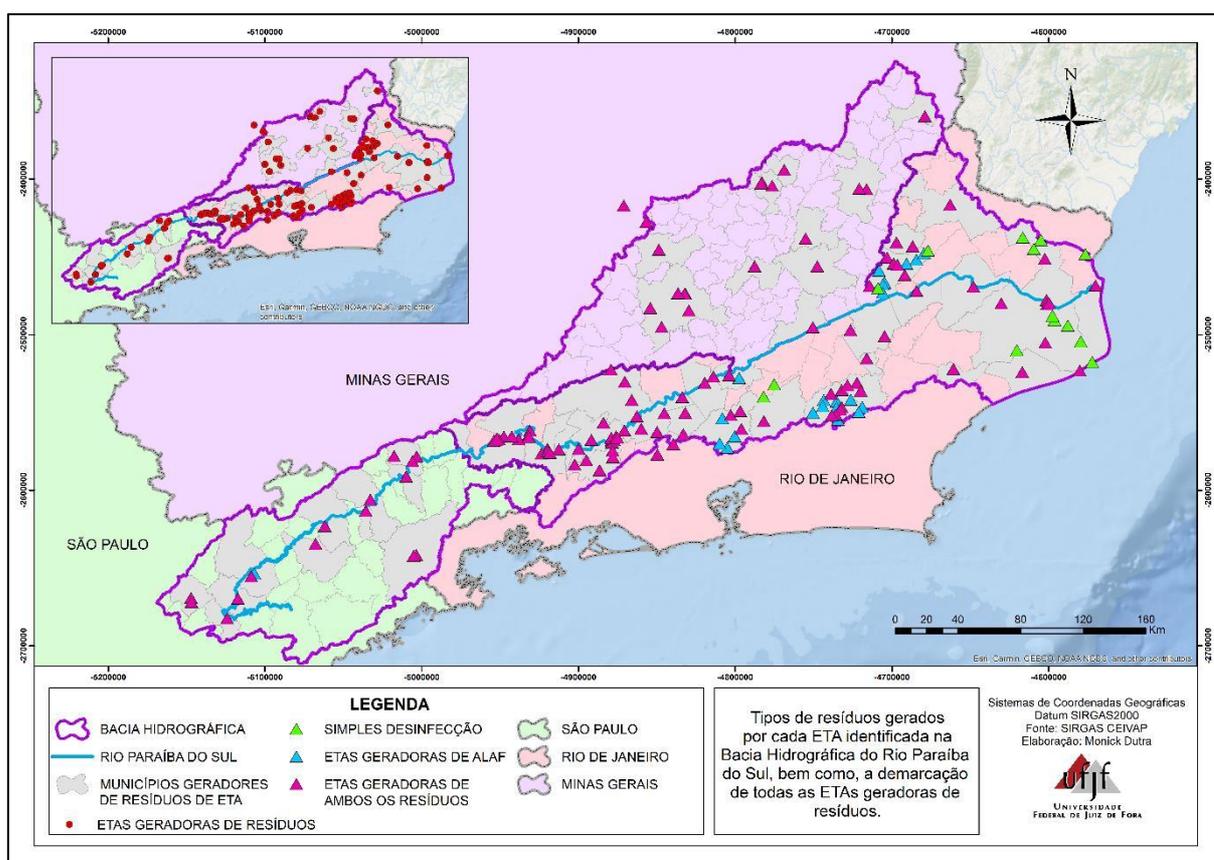


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em toda a Bacia Hidrográfica, das 153 ETAs contabilizadas, 139 ETAs foram identificadas como geradoras de resíduos. Em relação ao tipo de resíduo gerado,

verificou-se que há uma predominância na geração de Água de Lavagem dos Filtros (ALAF), onde das ETAs geradoras de resíduos, 13,73% não adotam decantadores como parte do processo de tratamento de suas águas (Figura 10).

Figura 10 – Identificação do tipo de resíduo gerado nas ETAs mapeadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, bem como, a demarcação de todas as estações consideradas geradoras de resíduos de ETA, 2022

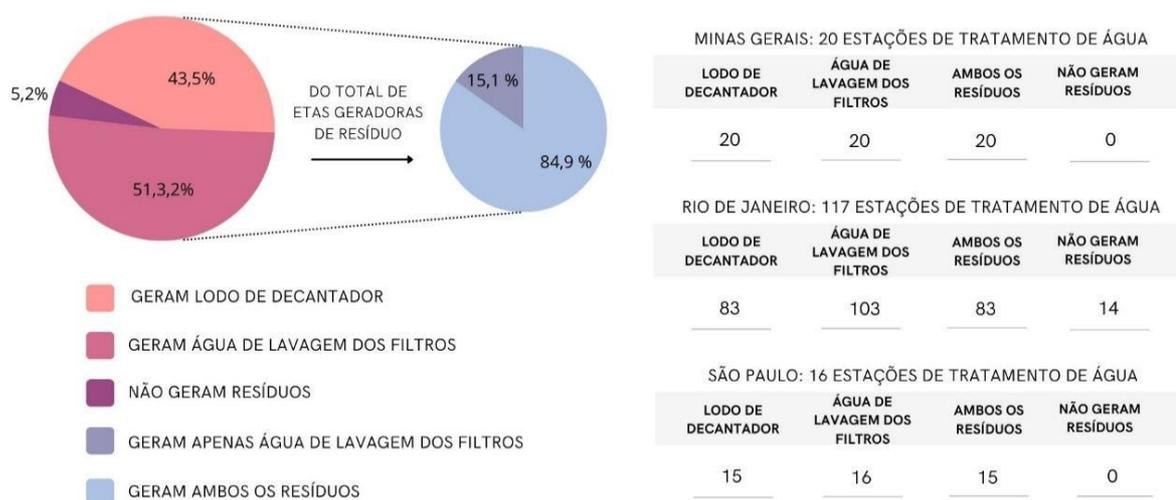


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No estado de Minas Gerais as 20 estações analisadas geram tanto lodo em seus decantadores quanto água de lavagem em seus filtros. Já no estado de São Paulo, de 16 estações, apenas uma não gera lodo de decantador, enquanto todas geram ALAF. A dimensão do problema consegue ser melhor notada no estado do Rio de Janeiro, o qual possui maior número de municípios geradores de resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica, onde de 117 ETAs analisadas, 103 geram resíduos. O número de ETAs não geradoras de resíduos equivale a 9,15% do total de estações identificadas, as quais possuem o tratamento simplificado, realizando apenas

desinfecção e fluoretação, estando todas localizadas no estado do Rio de Janeiro (Figura 11).

Figura 11 – Tipos de resíduos gerados nas ETAs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e geração destes resíduos por estado



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Dos 50 municípios geradores de resíduos, 42 disponibilizaram informações quanto ao gerenciamento dos mesmos, enquanto oito não evidenciaram quanto a aplicação ou não de algum método de tratamento. Sendo assim, de 139 ETAs geradoras de resíduos, não foi possível obter informações quanto ao tratamento por parte de 7,9% das estações, enquanto 92,1% dispunham de informações. Do total de ETAs que disponibilizaram esses dados, apenas 7% afirmaram realizar o tratamento dos resíduos, enquanto 93% afirmaram não realizar qualquer tratamento (Figura 12).

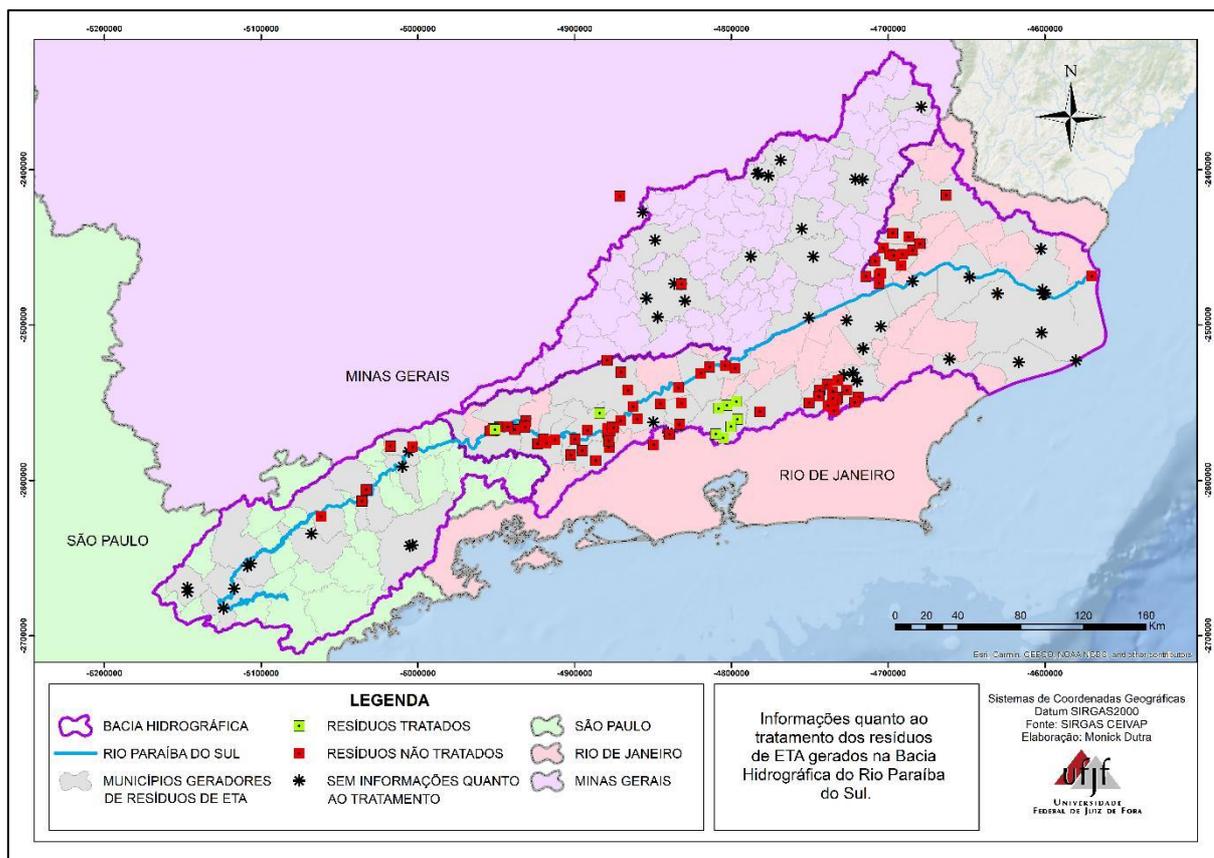
Figura 12 – ETAs geradoras e não geradoras de resíduos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e das que informaram quanto ao tratamento dos mesmos



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na Figura 13 é possível observar a apuração de informações quanto a disponibilização de dados a respeito do tratamento dos resíduos gerados por cada ETA mapeada na Bacia Hidrográfica. Das nove ETAs que relataram realizar o tratamento de seus resíduos, uma informou fazer o uso de leitos de secagem para desidratação. Essa tecnologia é utilizada para a desidratação e redução da umidade dos resíduos de ETA de maneira natural por meio da drenagem e evaporação do líquido presente em sua composição. A estrutura dos sistemas tradicionais é formada por uma camada suporte, o meio filtrante e o sistema drenante, onde após a drenagem da água, a secagem da massa de lodo acontece por meio da evaporação, estando as variáveis climáticas como a umidade relativa do ar e ventilação totalmente ligados ao melhor desempenho de desagüamento (ACHON *et al.*, 2008).

Figura 13 – Informações quanto ao tratamento dos resíduos de ETA gerados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 2022



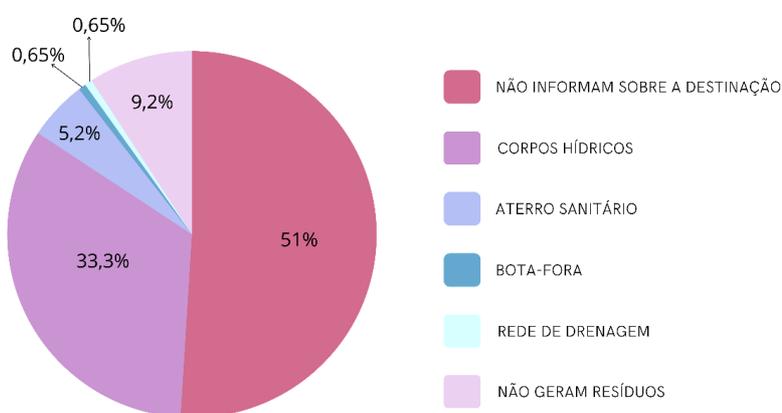
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nas demais estações, sete utilizam bags para realizar o deságue do lodo e uma afirma realizar a desidratação, não indicando o método adotado (Figura 13). A utilização de bags também é tida como um método bastante satisfatório e eficiente, acontecendo a drenagem do excesso de água decorrente do processo por meio dos poros da manta geotêxtil, tendo como resultado a desidratação e redução do volume do resíduo. A partir da redução, cada unidade de tratamento é preenchida por enchimentos sucessivos, até que o volume disponível seja quase inteiramente ocupado pela parcela sólida existente no rejeito (FRANCO, 2009).

A recirculação da água de lavagem dos filtros foi citada por apenas 1 ETA em toda a Bacia Hidrográfica, a qual reutiliza o material, bem como, a água extraída do tratamento do lodo (AGEVAP, 2014). Os indicadores apresentados na Figura 13 refletem a ausência tanto do tratamento do lodo gerado nos decantadores, quanto da recuperação da ALAF na maioria das ETAs analisadas.

Das nove ETAs que realizam o tratamento de seus resíduos, oito disponibilizaram informações quanto a destinação final, citando como destinos adotados os aterros sanitários (AGEVAP, 2014, CEDAE, 2018). As demais estações não declararam os destinos utilizados após a realização do tratamento. A disposição final direta dos resíduos de ETA em rede de drenagem foi citada por uma ETA, assim como a disposição direta em bota-fora (HABITAT ECOLÓGICO, 2014; FATOR S/A *et al.*, 2019) (Figura 14).

Figura 14 – Destinação final dada aos resíduos gerados nas ETAs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Analisando a Bacia Hidrográfica em sua totalidade constatou-se que mais da metade das ETAs geradoras de resíduos não disponibilizam informações quanto a destinação final adotada, e das estações que disponibilizam informações, o principal meio adotado é a disposição direta em corpos hídricos próximos, em seu estado natural ou diluído em água (Figura 14).

A escassez de informações quanto ao tratamento e descarte desses resíduos junto às ETAs é consequência de diversas irregularidades no setor de abastecimento de água, principalmente no que tange à disposição final dos mesmos (FERREIRA FILHO, 2017). A disposição direta dos resíduos de ETA em corpos hídricos pode causar o aumento da turbidez e comprometimento da qualidade da água pela presença de matéria orgânica e metais, o que consequentemente compromete e causa danos à saúde pública da população que carece desses recursos, dificultando o uso da água à jusante como fonte de abastecimento (SOARES *et al.*, 2004).

Considerando os dados coletados referentes a produção dos resíduos nas ETAs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, foram selecionadas quatro alternativas para possíveis aplicações dos mesmos, sendo essas: o reaproveitamento em viveiros e fábricas de materiais cerâmicos, e a disposição final em ETEs e Aterros Sanitários. A partir desta seleção, pôde ser definida a escolha mais atraente a ser adotada considerando questões quanto aos custos para sua efetivação. Posto isso, utilizando o mesmo método de análise para identificação das ETAs, foram mapeados nos municípios com população igual ou superior a 20.000 habitantes, 62 viveiros, 61 fábricas de materiais cerâmicos, 96 ETEs e 11 Aterros Sanitários (Tabela 5). Estas opções foram demarcadas nos municípios considerados geradores de resíduos, bem como, nas localidades onde não foram localizadas ETAs mas que estão dentro do recorte estabelecido, levando em consideração a possibilidade de investimentos futuros ao setor de abastecimento de água

Tabela 5 – Quantificação dos viveiros, fábricas de materiais cerâmicos, ETEs e Aterros Sanitários nos 57 municípios analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

DESTINOS MAPEADOS	RJ	MG	SP	TOTAL
Viveiros	30	19	13	62
Fábricas de materiais cerâmicos	61	-	-	61
Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs	49	12	35	96
Aterros Sanitários	05	06	-	11
Quantidade total de destinos em cada estado	145	37	48	230

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tendo em vista o número de municípios analisados no estado de São Paulo (15 municípios), foram encontradas maiores possibilidades de disposição final se comparado aos demais estados, tendo 13 municípios contendo ETEs e sete contendo aterros sanitários. Quanto aos meios de reaproveitamento, oito municípios poderiam aplicar os resíduos em viveiros, não sendo encontradas fábricas de materiais cerâmicos (Tabela 6).

Apesar do estado do Rio de Janeiro possuir maior quantidade de municípios (31 municípios) que integram a Bacia Hidrográfica, analisando os métodos de disposição final disponíveis, observou-se a deficiência quanto a prestação de serviços

de esgotamento sanitário, os quais beneficiam apenas sete localidades. O número de aterros sanitários encontrado também foi pequeno em vista do número de municípios analisados, onde apenas cinco contam com este recurso. Quanto aos meios de reaproveitamento, a aplicação em viveiros seria possível em 16 municípios. As fábricas de materiais cerâmicos foram encontradas em seis localidades, destacando-se a cidade de Campos dos Goytacazes, considerada um importante polo voltado para a atividade em todo o país, onde foram encontradas 56 fábricas (Tabela 6).

Tabela 6 – Quantidade de municípios contendo destinos para aplicação dos resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Apuração das opções de reaproveitamento e destinação final presentes nos 57 municípios selecionados na Bacia Hidrográfica	RJ 31 MUN	MG 11 MUN	SP 15 MUN	TOTAL 57 MUN
Viveiros	16	08	08	32 MUN
Fábricas de materiais cerâmicos	06	-	-	06 MUN
Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs	07	05	13	25 MUN
Aterro Sanitário	05	06	07	18 MUN

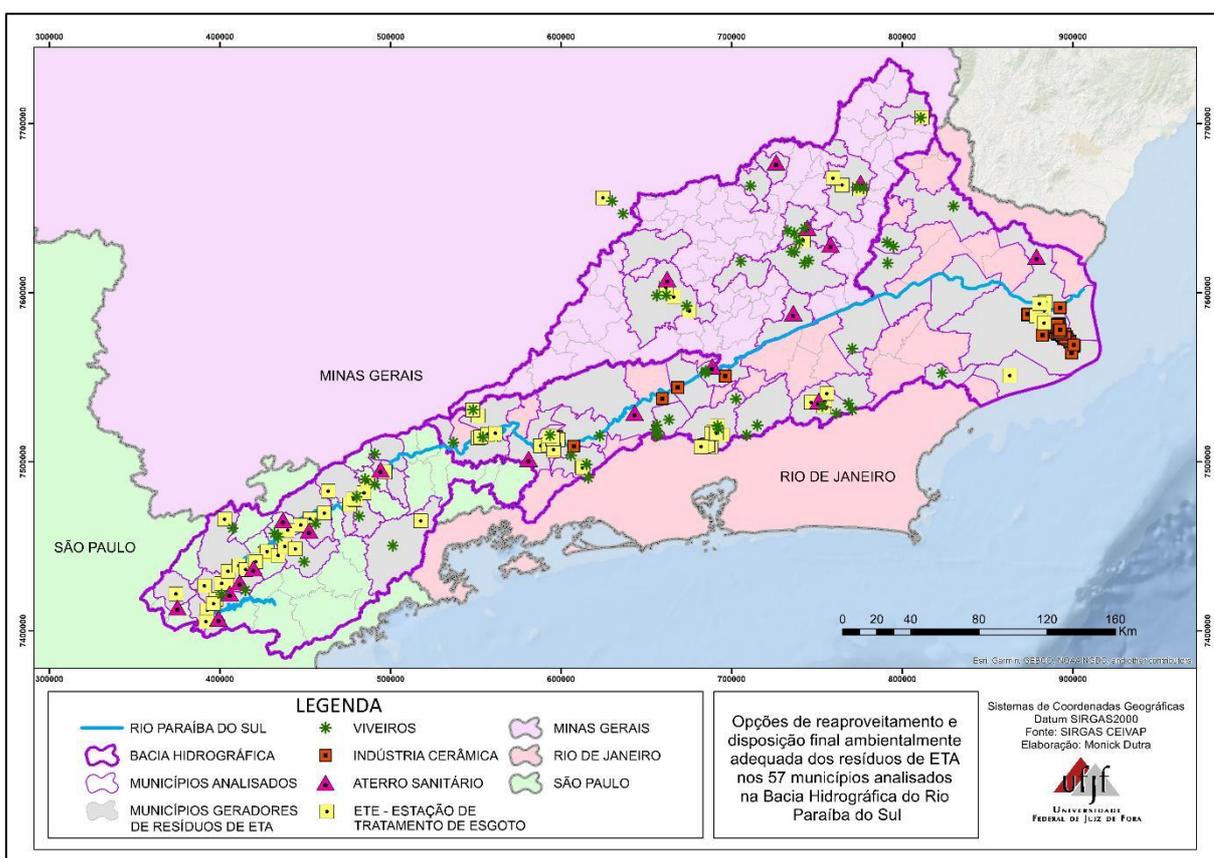
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A área que abrange o estado de Minas Gerais também sofre com o problema quanto a deficiência de prestação de serviço de esgotamento sanitário, onde de 11 municípios analisados, apenas cinco são beneficiados. Esse estado é caracterizado por abranger muitas localidades contendo população abaixo da média de 20.000 habitantes, cerca de 78,3% dos municípios, o que contribui para a carência de tais serviços (SPÓSITO E SILVA, 2013). Quanto aos aterros sanitários, dos 11 municípios analisados, seis dispõem deste método. A aplicação dos resíduos em viveiros seria possível por oito municípios mineiros, não sendo localizadas fábricas de materiais cerâmicos (Tabela 6).

Analisando a Bacia Hidrográfica em sua totalidade, levando em consideração os 57 municípios analisados, o reaproveitamento dos resíduos de ETA no cultivo de mudas em viveiros seria possível em 32 municípios. Já o reaproveitamento em fábricas de materiais cerâmicos seria possível em apenas seis municípios, os quais estão todos localizados no estado do Rio de Janeiro. A disposição em ETEs e em

aterros sanitários poderiam ser adotadas por 25 e 18 municípios respectivamente (Tabela 6) (Figura 15).

Figura 15 – Opções de reaproveitamento e disposição final para os resíduos de ETA nos 57 municípios analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

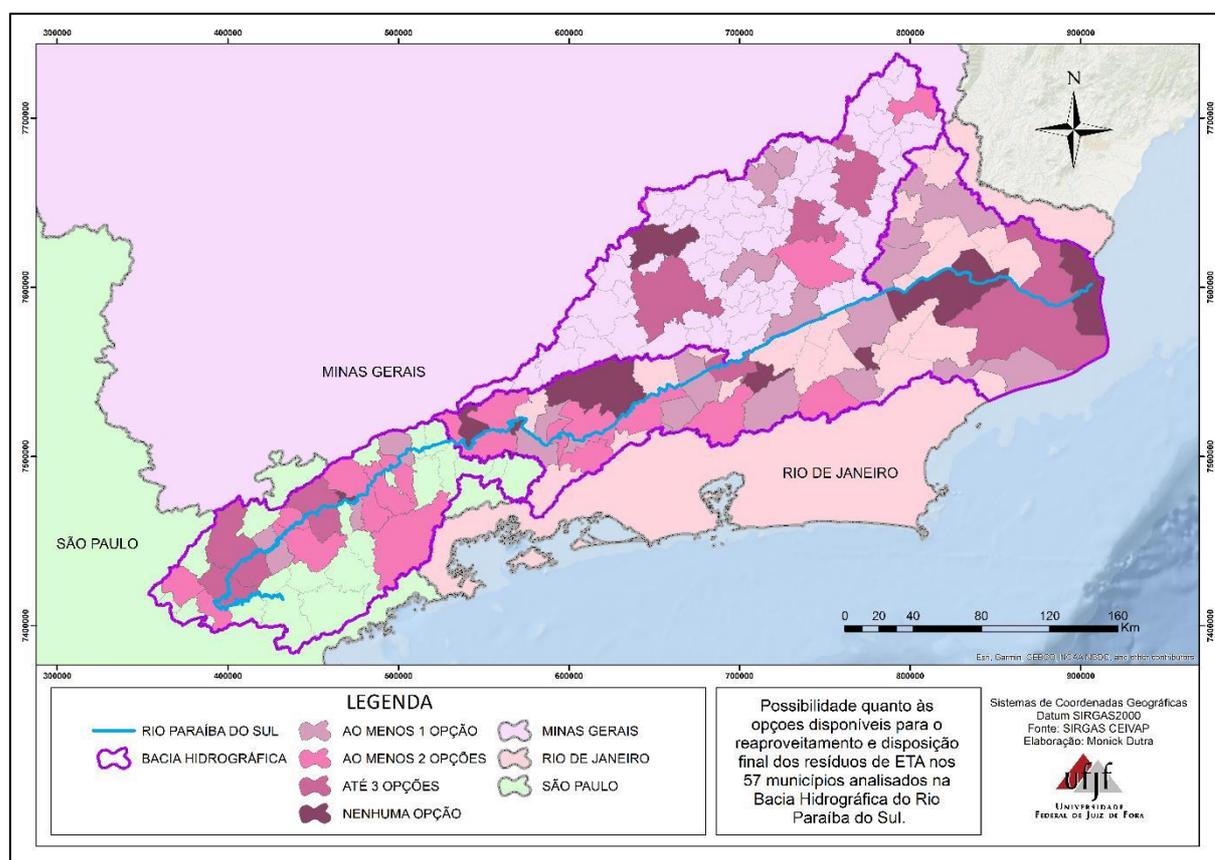
Dos 57 municípios estudados, 46 poderiam reaproveitar ou dispor devidamente os resíduos de ETA utilizando ao menos um método. Quase metade dos municípios analisados (26 municípios) poderiam fazer a aplicação em até dois métodos sugeridos, tendo nove municípios contendo até três opções (Tabela 7) (Figura 16).

Tabela 7 – Possibilidades de aplicação dos resíduos de ETA nos 57 municípios analisados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Possibilidades de aplicação dos resíduos de ETA nos 57 municípios analisados	RJ 31 MUN	MG 11 MUN	SP 15 MUN	TOTAL 57 MUN
Nenhuma opção	08	01	01	10 MUN
Ao menos 1 opção	22	10	14	46 MUN
Ao menos 2 opções	09	06	11	26 MUN
Até 3 opções	03	03	03	09 MUN

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 16 – Possibilidades para aplicação dos resíduos gerados nas ETAs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Do total de municípios analisados foi constatado que 10 não possuem nenhuma das quatro sugestões (Tabela 7) (Figura 16). Vale destacar que as ETEs e os aterros sanitários são opções indispensáveis para todos os municípios, sendo que, a escassez dessas possibilidades básicas acaba por dificultar ainda mais a disposição

ambientalmente adequada desses resíduos. O reaproveitamento em viveiros de mudas mostra-se uma alternativa promissora, uma vez que, mais da metade dos municípios analisados contam com esta opção. Quanto a aplicação em fábricas cerâmicas, poucas cidades conseguiriam utilizar o método, com destaque a cidade de Campos dos Goytacazes, considerada um dos principais expoentes do setor cerâmico nacional, abrigando mais de 120 fábricas (FILHO E RIBEIRO, 2010).

Devido à elevada concentração de matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes, estudos demonstram que os resíduos de ETA podem contribuir para melhoria estrutural do solo como ajuste de pH, aumento da retenção hídrica e aumento da aeração do solo (TSUTIYA E HIRATA 2001). Segundo Cunha *et al.* (2020), a possibilidade de utilização dos resíduos de ETA como substrato para produção de mudas florestais para paisagismo, florestamento ou reflorestamento, pode ser uma forma de incentivar parcerias entre os viveiristas e o sistema público contribuindo para a redução do desmatamento.

Augusto (2016) realizou estudos quanto a utilização dos resíduos de ETA na composição de substratos para produção de mudas de plantas da Caatinga. Utilizou-se o resíduo em sua forma seca, o qual foi submetido às análises química e física, para posterior realização do preparo dos substratos através da mistura do solo, esterco bovino e resíduo de ETA. Para todas as espécies analisadas foi possível utilizar o substrato composto de 50% de solo, 10% de esterco bovino e 40% de resíduo de ETA. Cunha *et al.* (2020) realizaram experimentos para avaliar a aplicação do resíduo como componente para germinação de mudas florestais. Para composição do substrato foi utilizado o solo classificado como latossolo vermelho-amarelo, areia grossa, além do resíduo de ETA secado ao sol e triturado. Ao fim do experimento foi possível concluir que o resíduo apresentou concentrações importantes de matéria orgânica capazes de contribuir para a retenção de água no solo e aumentar o estoque de nutrientes e atividade biológica das mudas, podendo ser utilizado na germinação de sementes devido a boa capacidade de aeração e absorção de água.

A utilização dos resíduos de ETA na indústria cerâmica tem mostrado enorme eficácia em função da similaridade entre sua composição química com argilas, contribuindo tanto para minimizar problemas de disposição inadequada, quanto para diminuir as atividades extrativas de argila que, muitas das vezes, também pode causar danos ambientais (WOLFF *et al.*, 2007). Pozzobon *et al.* (2009) avaliaram a incorporação do resíduo de ETA à massa cerâmica para a confecção de peças

artísticas decorativas e utilitárias em substituição parcial à argila. Para melhor aproveitamento do resíduo de ETA os autores constataram que este deve ser seco e moído antes de ser incorporado à massa cerâmica, melhorando assim, a sinterização, reduzindo a porosidade aparente, a absorção de água e a ocorrência de defeitos.

A incorporação dos resíduos em massa cerâmica para a produção de tijolos e telhas também é considerada uma opção viável. Teixeira *et al.* (2006) realizaram ensaios para analisar essa possibilidade, avaliando a retração linear, absorção de água, porosidade e massa específica aparente e ensaios de resistência à flexão em corpos de prova com diferentes concentrações de resíduo de ETA. Foi observado que os valores alcançados para as propriedades tecnológicas permaneceram dentro dos valores limites aceitáveis para a produção de tijolos com a adição do material à massa cerâmica, dependendo da temperatura de queima e da concentração na mistura. O resíduo obtido à base de alumínio, em geral, prejudicou mais as propriedades cerâmicas do que aqueles à base de ferro. Os autores concluíram que o resíduo de ETA pode ser incorporado à massa cerâmica, sendo possível adicionar à argila utilizada como matriz 10% do resíduo de ETA a base de alumínio e 20% a base de ferro, para temperaturas de queima a partir de 950° C (TEIXEIRA *et al.*, 2006).

A disposição dos resíduos de ETA em ETEs que utilizam o tratamento aeróbio constituída de lagoa aerada seguida por lagoa de sedimentação, por meio da rede coletora ou tubulação exclusiva, surge como procedimento atraente. Destaca-se que é necessária a avaliação de alguns fatores para que interferências indesejadas não ocorram nas unidades da ETE quanto ao seu desempenho e disposição de seus resíduos (SCALIZE *et al.*, 2014). Scalize *et al.* (2014) realizaram estudos quanto a essa aplicação utilizando resíduos de ETA obtidos em uma ETA de ciclo completo que utilizava cal para ajuste do pH e cloreto férrico como coagulante. Os módulos de lagoas funcionaram 30 dias recebendo apenas esgoto sanitário e após esse período, foi iniciada a adição do resíduo de ETA 6 vezes ao dia, totalizando 44,55 L. Ao fim do estudo conclui-se que o efluente final produzido pelo módulo de lagoa de aeração e lagoa de sedimentação que recebeu o resíduo de ETA apresentou melhor qualidade em termos de DQO (Demanda Química de Oxigênio), SST, turbidez, cor aparente, nitrito, NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl) e fósforo total. As demais características pesquisadas não apresentaram diferenças significativas para impossibilitar a aplicação dos resíduos de ETA em ETE (SCALIZE *et al.*, 2014).

Para a aplicação dos resíduos de ETA no processo de lodos ativados, as quantidades a serem aplicadas devem obter concentração de sólidos inferiores a 200 mg/L, não causando qualquer interferência caso sejam precedidos de decantação primária (CORNWELL *et al.*, 1987 apud. SCALIZE, 2003). Sena (2011) realizou um estudo a respeito dessa aplicação, utilizando como meio suporte mídia plástica para o crescimento microbiológico. Os esgotos afluentes da ETE foram coletados e após o tratamento preliminar receberam a adição do resíduo de ETA, sendo encaminhados ao decantador primário. A mídia plástica havia sido introduzida no tanque de aeração da ETE, sendo essa operação realizada somente com o esgoto afluente, sem a presença do resíduo de ETA. Com o estudo foi possível concluir que em sistema que não possui digestão anaeróbia do lodo de ETE é possível receber até 400 mg de SST de resíduo de ETA/L, não ocorrendo problema na remoção da carga orgânica. Caso o processo seja operado com adição de mídia plástica no tanque de aeração, a remoção de carga nitrogenada também não sofrerá qualquer influência negativa, demonstrando que este tipo de variante é capaz de tratar maior carga orgânica, sem sofrer qualquer inibição de processo (SENA, 2011).

Tem sido avaliada também a viabilidade da reutilização dos resíduos de ETA a base de alumínio como coagulante para o pós-tratamento de efluentes com o reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB). O reator UASB é tido como um dos processos mais utilizados para tratamento de efluentes urbanos, no entanto, o pós-tratamento de seu efluente é necessário para atender aos padrões de lançamento. Um estudo elaborado por Nair e Ahammed (2015) investigou o potencial dessa aplicação, tendo como resultado a produção de um efluente com padrões adequados quanto a sólidos suspensos, DQO, DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e nutrientes, além de que, a adição do resíduo de ETA se mostrou eficaz quanto a remoção de contaminantes se comparada com os resultados obtidos sem o acréscimo do resíduo. Os experimentos apresentaram 79% de remoção de fosfato, 84% de remoção de sólidos, 78% de remoção de DBO, além de remoção de coliformes totais (99,7%). Deve-se observar que a adição do resíduo de ETA ao efluente do UASB aumentaria o volume de lodo e a carga de biossólido nos leitos de secagem, o que demandaria um projeto adequado dessas unidades para acomodar o resíduo adicional.

Lembrando que para a utilização desse método deve-se observar questões quanto ao transporte e deságue do resíduo. Seu alto teor de umidade é o que contribui para que o transporte até a ETE seja oneroso. Caso a ETE receptora esteja localizada

nas proximidades da ETA geradora, estando o resíduo em seu estado líquido, este pode ser bombeado, caso contrário, deve-se realizar o pré-tratamento capaz de reduzir o teor de umidade e contribuir para a efetivação do transporte. Conhecer as características que compõem o resíduo produzido na ETA, bem como a quantidade que é gerada, também é de extrema importância para o planejamento quanto as opções disponíveis para sua aplicação (NAIR E AHAMMED, 2015).

Silveira *et al.* (2013) avaliaram a aplicação do resíduo de ETA em aterros sanitários após sua desidratação em leitos de drenagem e secagem com manta geotêxtil, onde logo depois foram realizados testes de lixiviação com o resíduo desidratado, além de sua classificação de acordo com as normas específicas. O ensaio revelou que os resíduos de ETA desidratados com teor de sólidos de em média 80% podem ser dispostos como cobertura de células em aterro sanitário, uma vez que os metais presentes em sua composição não foram disponibilizados quando entraram em contato com a água, recebendo assim, a classificação Classe II A – Não Inertes, apresentando constituintes que foram solubilizados em concentrações superiores aos limites estabelecidos na NBR 10.004 (2004) (SILVEIRA *et al.*, 2013).

Gonçalves *et al.* (2017) estudaram a codisposição dos resíduos de ETA misturado ao solo em camadas de impermeabilização de fundo, cobertura diária e cobertura final de aterros sanitários, servindo como barreiras impermeabilizantes para impedir a percolação dos líquidos gerados. Após a desidratação do resíduo de ETA em leito de drenagem, foram feitas misturas com solos argilosos e arenosos para posterior avaliação das características físico-químicas do material. Para os traços estudados foram realizados ensaios de compactação e permeabilidade. Com os resultados, os autores observaram que todos os materiais se enquadraram como materiais de baixa permeabilidade, indicados para uso em obras de aterro sanitário. Os coeficientes de permeabilidade apresentaram valores menores para os traços com o solo argiloso e próximo para o traço com o solo arenoso se comparados aos solos compactados sem adição do resíduo, tornando evidente o potencial das misturas para a retenção de percolados nos aterros sanitários, comprovando a eficácia da aplicação do resíduo de ETA ao solo para a confecção das barreiras impermeabilizantes.

Tendo como base as possibilidades apresentadas de reaproveitamento e disposição final dos resíduos de ETA, e que para a efetivação destas aplicações deve-se observar principalmente as distâncias a serem percorridas e o meio de transporte a ser utilizado, o Quadro 6 apresenta os municípios geradores de resíduos, o número

de estações presentes em cada município e os destinos disponíveis considerados mais adequados para esta aplicação.

Quadro 6 – Municípios geradores de resíduos de ETA na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e melhores opções para aplicação dos mesmos, considerando principalmente a distância a ser percorrida

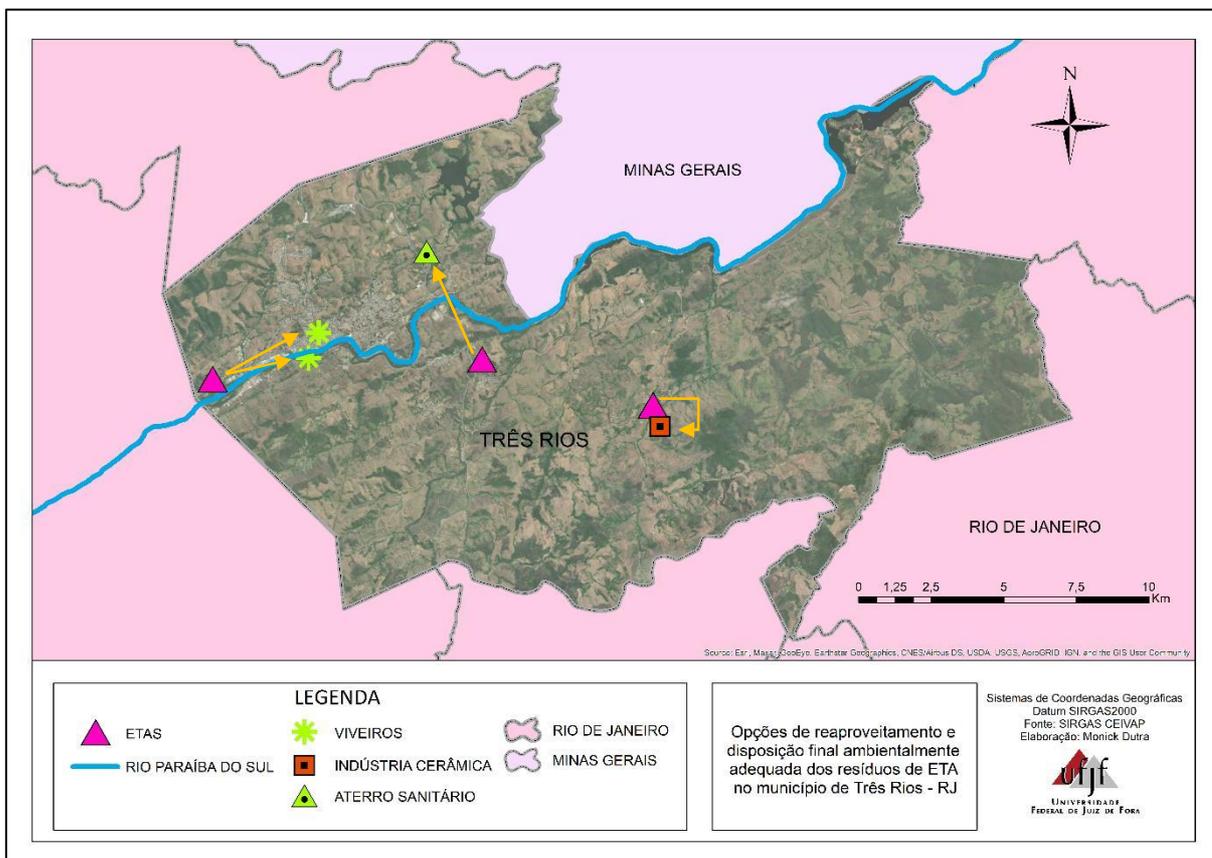
	MUNICÍPIOS	NÚM. DE ETAS GERADORAS DE RESÍDUOS	MELHORES DESTINOS
MINAS GERAIS	Além Paraíba	1	Aterro Sanitário
	Barbacena	2	Viveiro
	Carangola	1	Viveiro
	Cataguases	1	Viveiro
	Juiz de Fora	6	Viveiro
			ETE
	Leopoldina	1	Viveiro
	Muriaé	2	Viveiro
			ETE
	Santos Dumont	1	-
	São João Nepomuceno	1	Viveiro
Ubá	3	Viveiro	
Visconde do Rio Branco	1	Aterro Sanitário	
RIO DE JANEIRO	Barra do Piraí	9	Viveiro
			Fábrica de cerâmica
	Barra Mansa	5	Aterro Sanitário
	Bom Jardim	3	Viveiro
	Campos dos Goytacazes	6	Fábrica de cerâmica
			Aterro Sanitário
	Cantagalo	2	Viveiro
	Conceição de Macabu	1	Viveiro
	Cordeiro	1	-
	Itaocara	1	-
	Itaperuna	1	Viveiro
	Miguel Pereira	2	Viveiro
	Miracema	2	Viveiro
	Nova Friburgo	15	Viveiro
			ETE
			Aterro Sanitário
	Paraíba do Sul	1	Fábrica de cerâmica
Paty do Alferes	2	Viveiro	
Petrópolis	7	Viveiro	
		ETE	
Pinheiral	1	Fábrica de cerâmica	

	Piraí	5	Viveiro
			ETE
	Porto Real	3	Não possui opções
	Quissamã	2	ETE
	Resende	6	Viveiro
			ETE
	Santo Antônio de Pádua	12	Viveiro
	São Fidélis	1	Não possui opções
	São João da Barra	1	Não possui opções
	Teresópolis	1	Viveiro
	Três Rios	3	Fábrica de cerâmica
			Viveiro
			Aterro Sanitário
	Valença	4	Não possui opções
Vassouras	5	Fábrica de cerâmica	
		Aterro Sanitário	
Volta Redonda	1	ETE	
SÃO PAULO	Aparecida	1	ETE
	Cachoeira Paulista	1	ETE
	Cruzeiro	3	Viveiro
	Cunha	2	Viveiro
	Guararema	1	ETE
	Guaratinguetá	1	Viveiro
	Jacareí	1	Viveiro
	Pindamonhangaba	1	ETE
	Santa Isabel	2	ETE
	São José dos Campos	2	ETE
	Taubaté	1	ETE

Fonte: Elaborado pela autora, baseado na Figura 15 (2022).

Os destinos foram selecionados levando em consideração o número de estações geradoras de resíduos presentes em cada município, sendo que, os municípios que possuem mais de uma ETA poderão apresentar mais de uma possibilidade de destino a ser adotado. Como exemplo foi citada a cidade de Três Rios – RJ, a qual possui três ETAs geradoras de resíduos e três destinos que poderiam ser utilizados para a aplicação desses resíduos. A escolha do destino mais apropriado para cada estação seria norteadada pela distância a ser percorrida, considerando como melhor opção o destino mais próximo (Figura 17). Os municípios que possuem ETAs, porém não possuem nenhuma das opções sugeridas, poderiam reaproveitar ou dispor seus resíduos em cidades próximas que disponham de um dos métodos de aplicação.

Figura 17 – Opções de reaproveitamento e disposição final dos resíduos de ETA no município de Três Rios - RJ



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro foi observado que o destino mais adequado para maioria das ETAs geradoras de resíduos é a aplicação em viveiros de mudas. Já no Estado de São Paulo, como melhor possibilidade podemos destacar as ETEs (Quadro 6). Além das alternativas sugeridas, restariam outras opções como por exemplo, a aplicação em solos agrícolas, para recuperação de áreas degradadas e fabricação de materiais de construção civil (TERTOLINO DA SILVA *et al.*, 2019). Considerando que nem todos os municípios possuem as demais opções citadas, a problemática quanto à disposição dos resíduos de ETA se torna ainda mais crítica, levando conseqüentemente, as estações a disporem seus resíduos em corpos hídricos (método utilizado por 33,3% das ETAs na Bacia Hidrográfica, sendo que 51% não disponibilizam informações quanto ao destino adotado).

A conservação dos recursos hídricos influencia diretamente para melhora na eficiência dos sistemas de abastecimento de água, uma vez que, o tratamento

convencional apresentaria maior eficácia para a remoção das impurezas e tratamento da água. Os problemas de poluição em algumas regiões da Bacia Hidrográfica são críticos e afetam diretamente a qualidade da água bruta, refletindo negativamente nos custos voltados para seu tratamento.

O não tratamento dos resíduos de ETA e o lançamento direto em corpos hídricos contribui para a piora da qualidade das águas, com destaque aos organismos patogênicos, levando a um maior custo de tratamento e risco microbiológico para ETAs que coletam essa água a jusante e a utilizam para abastecimento, o que de fato, ocorre na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi verificado que o índice de produção de resíduos de ETAs na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul é extremamente alto, tendo como produtoras 91% das estações mapeadas, sendo a área que abrange a Região Metropolitana do Rio de Janeiro responsável por cerca de 75% dessas estações.

Foi observada também a escassez de informações referentes ao tratamento e disposição final desses resíduos, deixando evidente a necessidade da elaboração de estudos e abordagens a respeito da problemática, onde, mais da metade das estações identificadas não informam quanto a disposição final, e das que informam, cerca de 33,3% dispõem em corpos hídricos sem devido tratamento prévio, sendo o reuso do resíduo citado por apenas uma ETA em toda a Bacia Hidrográfica.

Pôde-se concluir que o estado de São Paulo apresentou maiores possibilidades se comparado aos demais quanto às opções para reaproveitamento e disposição final dos resíduos de ETAs. Todavia, do total de municípios analisados, cerca de 80% poderia reaproveitar ou dispor os resíduos adequadamente em viveiros, fábricas de materiais cerâmicos, ETEs ou Aterros Sanitários.

Os resultados do trabalho chamam a atenção para a conscientização dos gestores municipais quanto ao reaproveitamento dos resíduos de ETA e sua disposição final ambientalmente adequada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Recomenda-se a realização de futuros estudos a fim de avaliar os demais municípios que compõem o quadro da Bacia Hidrográfica, buscando além das alternativas sugeridas, demais alternativas de reaproveitamento e meios adequados para disposição final dos resíduos de ETAs gerados.

REFERÊNCIAS

ACHON, C. L.; BARROSO, M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Eng Sanit Ambient**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 115-122, abr/jun 2013. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/resource/pt/lil-680741>. Acesso em: 06 mar. 2022.

AGENERSA. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Itaperuna, RJ**. Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, p. 34. 2017. Disponível em: <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/relatfisc/cedae/itaperuna/2017/2017-01.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. **Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. [S.l.], p. 219. 2013. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fbom-jardim-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Campos dos Goytacazes, 2013**, 2013. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fcampos-dos-goytacazes-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Cordeiro, RJ**, 2013. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fcordeiro-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Itaocara, RJ**, 2013. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fitaocara-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Juiz de Fora, MG - Produto 2**, p. 177, 2013. Disponível em: https://planodesaneamento.pjf.mg.gov.br/o_plano.html. Acesso em: 15 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica. **Plano Municipal de Saneamento de Miguel Pereira**, 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-miguel-pereira.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Paraíba do Sul, RJ**, 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-paraiba-do-sul.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Paty do Alferes, RJ**, 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-paty-do-alferes.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Pirai, RJ**, 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-pirai.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Valença, RJ**, 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-valenca.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Vassouras, RJ**, 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-vasouras.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Resende, RJ**, 2014. Disponível em: <https://resende.rj.gov.br/images/PlanoMunicipaldeSaneamentoBasico.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Pinheiral, RJ**, 2015. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fpinheiral-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento de Porto Real, RJ**, 2015. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-porto-real.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Barra do Pirai, RJ**, p. 341, 2015. Disponível: <https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-barra-do-pirai.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO MUNICÍPIO DE LEOPOLDINA, MG - PRODUTO 8**, 2016. Disponível em: http://sigaceivap.org.br:8080/publicacoesArquivos/arq_pubMidia_Processo_011-2013_P9-Leopoldina.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio**

Paraíba do Sul, 2021. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/instrumentos-de-gestao/plano-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 03 de mar. 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ANDRADE, ; SILVA, M.; OLIVEIRA, F. D. C. GESTÃO AMBIENTAL EM SANEAMENTO: UMA REVISÃO DAS ALTERNATIVAS. **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Belo Horizonte - MG, nov. 2014. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/IX-004.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ANDRADE, P. D. S. **AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA: ESTUDO DE CASO**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas - SP, p. 240. 2005.

ANDREOLI, C. V. **Projeto PROSAB**: Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: RiMa, ABES, 2001.

ANICER. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. **AnicerPRO**. Disponível em: <https://anicerpro.com.br/anicer-pro/>. Acesso em: 15 abr 2022.

ARAÚJO, F. C.; SCALIZE, P. S.; ALBUQUERQUE, A. AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE POZOLÂNICA EM RESÍDUO DE ETA. **1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**, p. 15-17, 2021. Disponível em: <https://www.ggga.ita.br/Anais%20LETA%202021.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

ARAÚJO, R. N.; SILVEIRA, L. R. REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ETA E ETE EM OBRAS DE ENGENHARIA. **Revista Técnica e Tecnológica**, v. 1, n. 2, 2017. Disponível em: <http://cts.luziania.ifg.edu.br/CTS1/article/view/87>. Acesso em: 16 abr. 2022.

ARSAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Ubá, MG**. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de MG. Belo Horizonte, MG, p. 90. 2013. Disponível em: http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf_tec_op_saa_uba.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

ARSAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Além Paraíba, MG**. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, p. 45. 2014. Disponível em: http://www.arsae.mg.gov.br/images/relatorios/Rf_tec_op_saa_alem_paraiba.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

ARSAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Visconde do Rio Branco, MG.** Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de MG. Belo Horizonte, MG, p. 54. 2014. Disponível em: http://www.arsae.mg.gov.br/images/Relatorios/Rf_tec_op_saa_visconde_do_rio_branco.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

ARSAE. **Relatório de Fiscalização: SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA SEDE MUNICIPAL DE CATAGUASES, MG.** Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, p. 23. 2016. Disponível em: http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/Rf_tec_op_saa_cataguases.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

ARSAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Santos Dumont, MG.** Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, p. 37. 2017. Disponível em: http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/Rf_tec_op_ses_santos_dumont.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

ARSAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Ubá, MG.** Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, p. 16. 2019. Disponível em: https://www.uba.mg.leg.br/menu-transparencia/cpi/cpi- crise-hidrica-2017/relatorio_29.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

ARSAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de São João Nepomuceno, MG.** Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, p. 43. 2021. Disponível em: http://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/rf_tec_op_saa_itui_e_araci.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

AUGUSTO, J. **LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PLANTAS DA CAATINGA.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB, p. 79. 2016. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/9126?locale=pt_BR. Acesso em: 15 abr. 2022.

AZEVEDO FILHO, T.; RIBEIRO, D. C. A governança em aglomerações produtivas: uma análise sobre o setor cerâmico de Campos dos Goytacazes. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, SP, v. 7, n. 1, p. 96-129, jan/abr 2011. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-governan%C3%A7a-em-aglomera%C3%A7%C3%B5es-produtivas%3A-uma-sobre-Filho/f5f4e3a7a3b641b98a052290191be8a73eaf5f73?p2df>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BIDONE, ; SILVA, A. P.; MOTTA, D. Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitões de Secagem e Codisposição em Aterros

Sanitários. In: ANDREOLI, V. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. 1. ed. Rio de Janeiro: RiMA, ABES, 2001. Cap. 9, p. 215-244.

BITTERN COURT, S. et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Eng Sanit Ambient**, v. 17, n. 3, p. 315-324, jul/set 2012. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/RxJFBX3ntCZqSVpxw57kjZG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 ago. 2022.

BOINA, R. F.; BELLOTTI, L. R. ESTADO DA ARTE: LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO BRASIL. **1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**, p. 31-34, 2021. Disponível em:
<https://www.ggga.ita.br/Anais%20LETA%202021.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2022.

BOTERO, W. G. et al. CARACTERIZAÇÃO DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO AGRÍCOLA. **Quim. Nova**, v. 32, n. 8, p. 2018-2022, set. 2009. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/qn/a/r5xt9hQk9FWqD6ztcyhrpfy/?lang=pt>. Acesso em: 21 ago. 2022.

BRAGA, F. P. **AValiação de Desempenho de uma Estação de Tratamento de Água do Município de Juiz de Fora - MG**. Trabalho Final de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG. 2014.

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de ago. de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**, Brasília, DF, ago. 1981. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 15 abr. 2022.

BRASIL. Norma Brasileira - ABNT NBR 10004/2004. **Resíduos Sólidos - Classificação**, Brasília, DF, 2004. Disponível em:
<https://www.unaerp.br/documentos/2234-abnt-nbr-10004/file>. Acesso em: 14 mar. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de mar. de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**, Brasília, DF, mar. 2005. Disponível:
http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf. Acesso em: 05 abr. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305/10, de 02 de ago. de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, DF, ago. 2010. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 21 mar. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de mai. de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de mar. de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**, Brasília, DF, 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 05 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de jul. de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de jul. de 2000**, Brasília, DF, jul. 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm. Acesso em: 05 abr. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 498, de 19 de ago. de 2020. **Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências**, Brasília - DF, ago. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>. Acesso em: 20 ago. 2022.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de jan. de 2022. **Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, DF, jan. 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm. Acesso em: 13 fev. 2022.

CEDAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Itaperuna, RJ**. Companhia Estadual de Água e Esgotos do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, p. 34. 2017. Disponível em: <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/relatfisc/cedae/itaperuna/2017/2017-01.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

CEDAE. **Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água - São João da Barra, RJ**. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2018. Disponível em: https://cedae.com.br/portals/0/relatorio_anual/2020/S%C3%83O%20JO%C3%83O%20DA%20BARRA.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

CEDAE. **Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água - Itaocara, RJ**. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2019. Disponível em: https://cedae.com.br/portals/0/relatorio_anual/2020/ITAOCARA.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

COELHO, V. et al. USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 2, p. 11-22, set. 2015. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/33134>. Acesso em: 17 ago. 2022.

CONEN. **Plano Municipal de Saneamento de Conceição de Macabu, RJ**. Prefeitura Municipal de Conceição de Macabu. Conceição de Macabu. RJ, p. 389. 2013. Disponível em:

<https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fconceicao-de-macabu-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

CONEN. **Plano Municipal de Saneamento de São Francisco do Itabapoana, RJ**. Prefeitura Municipal de São Francisco do Itabapoana. São Francisco do Itabapoana, RJ, p. 468. 2013. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fsao-francisco-de-itabapoana-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

CONEN. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Carangola, MG**. Prefeitura Municipal de Carangola. Carangola, MG, p. 163. 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/mineiros-2015/carangola.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

CONEN. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Santos Dumont, MG**. Prefeitura Municipal de Santos Dumont. Santos Dumont, MG, p. 187. 2014. Disponível em: <https://ceivap.org.br/saneamento/mineiros-2015/santos-dumont.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

CONEN. **Plano Municipal de Saneamento Básico de São João Nepomuceno, MG**. Prefeitura Municipal de São João Nepomuceno. São João Nepomuceno. MG, p. 158. 2017. Disponível em: https://www.sjnepomuceno.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Primeira_revisao_do_PMS_BCom_emendas?cdLocal=2&arquivo=%7B1EC71DD8-BD5D-D76E-7EBD-3E17EBAB6568%7D.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

COPASA. **Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água - Santos Dumond, MG**. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2021. Disponível em: http://www.arsae.mg.gov.br/panoramas/santos_dumont_copasa.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

CORREIA, L. A. M. B. et al. SANEAMENTO E SUSTENTABILIDADE URBANA: A CIDADE PEQUENA NO CONTEXTO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO. **I Congresso Internacional de Desenvolvimento, Meio Ambiente e Sustentabilidade e III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**, Campina Grande, PB, 20 a 22 nov. 2019. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/ebooks/conimas/2019/ebook2/PROPOSTA_EV133_MD1_ID977_05092019230945.pdf. Acesso em: 21 de mai. 2022.

COUTO, M. P. **Desenvolvimento e Caracterização de Materiais Cerâmicos Derivados do Processamento dos Resíduos de Estação de Tratamento de Água**. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - Escola de Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

CRUZ, C. L. B. M. **Estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2018.

CUNHA, D. D.; STACHIW, ; QUADROS, K. M. Lodo de estação de tratamento de água como componente para germinação de mudas florestais. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 40-53, 2020.

DI BERNARDO, L. **FILTRAÇÃO DIRETA APLICADA A PEQUENAS COMUNIDADES**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **MÉTODOS E TÉCNICAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA**. São Carlos - SP: LDiBe, 2012.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos - SP: LDiBe, v. I, 2008.

ECOLOGUS ENGENHARIA CONSULTIVA. **Plano Municipal de Saneamento de Volta Redonda, RJ**. Prefeitura Municipal de Volta Redonda. Volta Redonda, RJ, p. 1000. 2015. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/volta-redonda-rj/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

ENCIBRA S.A. **Plano Municipal de Saneamento de Teresópolis, RJ**. Prefeitura Municipal de Teresópolis. Teresópolis, RJ, p. 288. 2015. Disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/conteudo/teresopolis-vf.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

ENCIBRA S.A. **Plano Municipal de Saneamento Básico de São José do Vale do Rio Preto, RJ**. Prefeitura Municipal de São José do Vale do Rio Preto. São José do Vale do Rio Preto, RJ, p. 551. 2015. Disponível em: https://www.sjvriopreto.rj.gov.br/uploads/paginadinamica/28757/PLANO_MUNICIPAL_DE_SANEAMENTO___Relatorio_Sintese.pdf. Acesso em: 22 de fev. 2022.

FADANELLI, L. E. ; WIECHERECK, G. K. ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM SOLO CIMENTO PARA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 2, n. 2, p. 31-37, ago. 2010 Disponível em: <https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11323>. Acesso em: 12 abr. 2022.

FATOR S/A; CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A; , V. G. & P. A. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Barra do Piraí, RJ**. Barra do Piraí, RJ, p. 120. 2019. Disponível em: https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Planejamento%20Universaliza%C3%A7%C3%A3o%20-%20Pira%C3%AD.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

FATOR S/A; CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A; VERNALHA GUIMARÃES & PEREIRA ADVOGADOS. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Miguel Pereira, RJ**. Miguel Pereira, RJ, p. 98. 2014. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/rj/miguel-pereira>. Acesso em: 22 fev. 2022.

FATOR S/A; CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A; VERNALHA GUIMARÃES & PEREIRA ADVOGADOS. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de São Francisco do Itabapoana, RJ.** São Francisco do Itabapoana, RJ, p. 107. 2019. Disponível em:

https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Planejamento%20Universaliza%C3%A7%C3%A3o%20-%20S%C3%A3o%20Fid%C3%A9lis_1.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

FATOR S/A; CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A; VERNALHA GUIMARÃES & PEREIRA ADVOGADOS. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Quissamã, RJ.** Quissamã, RJ. 2019. Disponível em:

<https://infosanbas.org.br/municipio/quissama-rj/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

FATOR S/A et al. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de São João da Barra, RJ.** São João da Barra, RJ, p. 98. 2019. Disponível em:

<https://infosanbas.org.br/municipio/sao-joao-da-barra-rj/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

FATOR S/A; CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A; VERNALHA GUIMARÃES & PEREIRA ADVOGADOS. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Bom Jardim, RJ.** Bom Jardim, RJ, p. 101. 2019. Disponível em:

https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Bom%20Jardim_0.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

FATOR S/A; CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A; VERNALHA GUIMARÃES & PEREIRA ADVOGADOS. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Cantagalo, RJ.** Cantagalo, RJ, p. 104. 2019. Disponível em:

https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Planejamento%20Universaliza%C3%A7%C3%A3o%20-%20S%C3%A3o%20Fid%C3%A9lis_1.pdf. Acesso em 22 fev. 2022.

FATOR S/A; CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A; VERNALHA GUIMARÃES & PEREIRA ADVOGADOS. **Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Município Miracema, RJ.** Miracema, RJ, p. 103. 2019. Disponível em:

https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Planejamento%20Universaliza%C3%A7%C3%A3o%20-%20S%C3%A3o%20Fid%C3%A9lis_1.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

FERNANDEZ, et al. Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado. **Revista Matéria**, v. 23, n. 03, abr. 2018. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rmat/a/GBtHRBtrvrrFnByy4yYYXkS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 mar. 2022.

FERREIRA FILHO, S. S. **TRATAMENTO DE ÁGUA:** Concepção, projeto e operação de estações de tratamento. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERREIRA, A. C. D. S. et al. Avaliação do desenvolvimento do capim Tifton cultivado em latossolo adubado com lodo de ETA. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 07, n. 01, p. 64 - 83, jan/jun 2017. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/26466>. Acesso em: 17 ago. 2022.

GHIZONI, G. R. S. **Fabricação de pastilhas cerâmicas com lodo proveniente de estações de tratamento de água: estudo de caso, ETA - Pato Branco, Paraná.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, PR. 2013.

GONÇALVES, et al. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista DAE**, jan 2017. Disponível em: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2016.018>. Acesso em: 15 fev. 2022

GUIMARÃES, I. D. R. **UTILIZAÇÃO DE ÓXIDOS DE FERRO NATURAIS E SINTÉTICOS PARA A OXIDAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS.** Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2007.

HABITAT ECOLÓGICO. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE BARBACENA, MG - VERSÃO PRELIMINAR.** Prefeitura Municipal de Barbacena, MG. Curitiba, PR, p. 749. 2014. Disponível em: https://barbacena.mg.gov.br/arquivos/PMSB_BARBACENA_VERS%C3%83O_PRELIMINAR_30.01.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

HABITAT ECOLÓGICO. **Plano Municipal de Saneamento de Petrópolis, RJ.** Prefeitura Municipal de Petrópolis. Curitiba, PR, p. 781. 2014. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/SEAS/PMSB%20-%20PETROPOLIS.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

HAGEMANN, et al. Synergic effects of the substitution of Portland cement for water treatment plant sludge ash and ground limestone: Technical and economic evaluation. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 916-926, mar 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618340551>. Acesso em: 21 mar. 2022.

HOPPEN,. **RECICLAGEM DE LODO DE ETA CENTRIFUGADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, MÉTODO ALTERNATIVO PARA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR. 2004.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1364>>. Acesso em: 08 abr. 2022.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. PLANEJAMENTO E ASPECTOS AMBIENTAIS ENVOLVIDOS NA DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. **Eng. sanit. ambient.**, v. 12, n. 2, p. 117-126, abr/jun 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/NRGTw5vg8cPgkmt86GW55mg/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 fev. 2022.

KATAYAMA, V. T. et al. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 20, n. 4, p. 559-569, out/dez 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/VqTdZyTDtrqhZyspQ4FTpZk/?lang=pt>. Acesso em: 05 ago. 2022.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4º. ed. Campinas, SP: Átomo, 2016.

LIMA, U. T. G. M. et al. Destinações ambientalmente adequadas do resíduo gerado no processo de tratamento de água convencional. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 24041-24057, mar. 2021. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/26052>. Acesso em: 06 mar. 2022.

MARTINEZ, J. G. B. **Avaliação de desempenho de misturas betuminosas com adição de lodos de eta e de ete**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília. Brasília - DF. 2014.

MARTINEZ, J. G. B. **Asfaltos e misturas modificadas com materiais alternativos**. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília. Brasília - DF. 2017.

MARTINS JÚNIOR, A. C. D. O. et al. TEOR DE SÓLIDOS E MANEJO DE LETA DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO. **1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**, p. 46-49, 2021. Disponível em: <https://www.ggga.ita.br/Anais%20LETA%202021.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHON, C. L. PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DE LODOS GERADOS EM ETAs. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande, MS, out 2005.

MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. G. Caracterização do lodo das ETAs Cubatão e Taiaçupeba e seu comportamento em misturas com solo. **1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**, p. 28-30, 2021. Disponível em: <https://www.ggga.ita.br/Anais%20LETA%202021.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022.

N. S. ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Plano Municipal de Saneamento de Três Rios, RJ**. Prefeitura Municipal de Três Rios. Três Rios, RJ, p. 231. 2016. Disponível em: <https://tresrios.rj.gov.br/wp-content/uploads/2022/02/Anexo-da-LEI-4.593-2019-PMSB.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 272-281, jun 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613008913>. Acesso em: 25 abr. 2022.

OLIVEIRA, A. P. D. S. et al. AVALIAÇÃO DOS ADUBADO COM LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA. **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 29-47, jul./dez. 2015. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br>. Acesso em: 02 jan. 2022.

PEREIRA, M.; GOMES, M. H. ; PEREIRA, D. O. ESTIMATIVA FINAL DA PRODUÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO, nov. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 22 ago. 2022.

PERINI, L. R. et al. Estudo de aproveitamento do lodo da ETA de Santa Rosa, Bento Gonçalves, RS, 05 a 07 abr. 2016. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=689&ano=_quinto. Acesso em: 20 jul. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Cunha, SP**. Prefeitura Municipal de Cunha. São Paulo, SP, p. 212. 2006. Disponível em: <http://www.cunha.sp.gov.br/secretarias/planejamento-e-obras/plano-saneamento-basico/>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Lorena, SP**. Prefeitura Municipal de Lorena. São Paulo, SP, p. 237. 2011. Disponível em: http://www.lorena.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/0872_RT_12_S_2004_02_Lorena.pdf. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Aparecida, RJ**. Prefeitura Municipal de Aparecida. São Paulo, SP, p. 208. 2011. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Faparecida-sp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Cachoeira Paulista, SP**. Prefeitura Municipal de Cachoeira Paulista. São Paulo, SP, p. 2017. 2011. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fcachoeira-paulista-sp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Jacareí, SP**. Prefeitura Municipal de Jacareí. São Paulo, SP, p. 245. 2011. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fjacarei-sp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Santa Isabel, SP**. Prefeitura Municipal de Santa Isabel. São Paulo, SP, p. 217. 2011. Disponível em:

<https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fsanta-isabel-sp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Pindamonhangaba, SP**. Prefeitura Municipal de Pindamonhangaba. São Paulo, SP, p. 289. 2011. Disponível em: <https://www.pindamonhangaba.sp.gov.br/site/wp-content/uploads/2018/10/plano-de-saneamento.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Tremembé, SP**. Prefeitura Municipal de Tremembé. São Paulo, SP, p. 217. 2011. Disponível em: https://www.tremembe.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/0872_RT_12_S_3704_02_Tremembe.pdf. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLANSAN. **Plano Municipal de Saneamento de Caçapava, SP**. Prefeitura Municipal de Caçapava, SP. São Paulo, SP, p. 240. 2014. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fcacapava-sp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

POZZOBON, J. C.; LUCAS, F. R.; MORA, . Avaliação de Métodos de Tratamento do Lodo de ETA para a Utilização em Cerâmica Artística, jan 2009. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/publiclodo/lodoc3n2009.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARAREMA. **Plano Municipal de Saneamento de Guararema, SP**. Guararema, SP, p. 67. 2017. Disponível em: <http://www.guararema.sp.gov.br/1016/anteprojeto+de+lei/plano+municipal+de+saneamento+bsico/>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ. **Plano Municipal de Saneamento de Guaratinguetá, SP**. Guaratinguetá, SP, p. 264. 2016. Disponível em: <https://guaratingueta.sp.gov.br/wp-content/uploads/2017/01/Revis%C3%A3o-PMISB-Guaratinguet%C3%A1-2016.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAPERUNA. **Plano Municipal de Saneamento de Itaperuna, RJ**. Itaperuna, RJ, p. 328. 2015. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fitaperuna-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITATIAIA. **Plano Municipal de Saneamento de Itatiaia**. Itatiaia, RJ, p. 297. 2014. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fitatiaia-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA. **Plano Municipal de Saneamento de Miracema, RJ**. Resende, RJ, p. 577. 2020. Disponível em: http://18.229.168.129:8080/publicacoesArquivos/ceivap/arq_pubMidia_Processo_077-2019_P08.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MURIAÉ. **REVISÃO DO PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE MURIAÉ, MG**. Muriaé, MG, p. 456. 2020. Disponível em: <https://www.demsur.com.br/site/plano-municipal-de-saneamento-basico/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA FRIBURGO. **Plano Municipal de Saneamento de Nova Friburgo**. Nova Friburgo, RJ, p. 475. 2015. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fnova-friburgo-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA. **Plano Municipal de Saneamento de Santo Antônio de Pádua, RJ**. Santo Antônio de Pádua, RJ, p. 164. 2019. Disponível em: http://santoantoniodepadua.rj.gov.br/conteudo/18/plano_municipal_de_saneamento_basico. Acesso em: 22 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO FIDÉLIS. **Plano Municipal de Saneamento de São Fidélis, RJ**. São Fidélis, RJ, p. 139. 2012. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/saneamento/saofidelis/Produto-3-Characterizacao-Municipal-Sao-Fidelis.pdf>. Acesso em: 22 fev, 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Plano Municipal de Saneamento de São José dos Campos, SP**. São José dos Campos, SP, p. 174. 2012. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fsao-jose-dos-campos-sp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TAUBATÉ. **Plano Municipal de Saneamento de Taubaté, SP**. Taubaté, SP, p. 197. 2013. Disponível em: <https://www.taubate.sp.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/PLANO-MUNICIPAL-DE-SANEAMENTO-B%C3%81SICO-FINAL.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBÁ. **PLANO DE GESTÃO DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL E ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE UBÁ, MG**. [S.l.], p. 203. 2014. Disponível em: https://www.uba.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Plano_de_Gestao_dos_Servicos_de_Abastecimento_de_Agua_Potavel_e_Esgotamento_Sanitario_de_Uba?cdLocal=2&aquivo=%7B0EE08ABD-23BA-AEA7-B8CD-B178066BCB16%7D.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

RAMALHO, P. R. S. **AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS COM OCORRÊNCIA NO CERRADO**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. 2015.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2001.

RIVERA, J. C. E. **TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS DE UMA ESTAÇÃO DE FILTRAÇÃO DIRETA E SIMULAÇÃO DA**

DISPOSIÇÃO DOS LODOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2001.

RODRIGUES, F. N. Caracterização dos resíduos da estação de tratamento de água da UFLA e aproveitamento na confecção de tijolos de solo-cimento.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2015.

SAAE. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Barra Mansa, RJ. SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BARRA MANSA (RJ).** Barra Mansa, RJ, p. 502. 2018. Disponível em:

<https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fbarra-mansa-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022.

SABESP. Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água - Guararema, SP.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 2019. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/calandraweb/toq/2019/GUARAREMA.pdf>.

Acesso em: 13 fev. 2022.

SABESP. Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água - Pindamonhangaba, SP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 2020. Disponível em:

<http://www.sabesp.com.br/calandraweb/TOQ/2020/PINDAMONHANGABA.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2022.

SABESP. Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água - Taubaté, SP.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 2020. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/calandraweb/TOQ/2020/TAUBATE.pdf>.

Acesso em: 13 fev. 2022.

SABOGAL PAZ, L. P. Modelo conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte.

Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2007.

SANATEL. Plano Municipal de Saneamento de Quissamã, RJ, 2010. Disponível em:

<https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fquissama-rj>. Acesso em: 22 fev. 2022. 320.

SANTOS, G. Z. B.; MELO FILHO, J. A.; MANZATO, L. Proposta de uma cerâmica obtida por meio de geopolimerização de lodo de ETA calcinado. **Cerâmica** 64, p. 276-283, 2018. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ce/a/yQnGZQkg4jkZSRK5bzw5DHP/?lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SARAIVA SOARES, A. F.; DINIZ, (Eds.). Valoração econômica de danos

ambientais: Coletânea da Central de Apoio Técnico do Ministério Público de Minas Gerais. Belo Horizonte: Centro de Estudos e Aperfeiçoamento Funcional do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, 2020.

SCALIZE, P. S. **DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2003.

SCALIZE, P. S. et al. Disposição de resíduo de ETA em sistema de tratamento aeróbio de esgoto seguido de lagoa de sedimentação. **Revista DAE**, n. 197, p. 72-86, set/dez 2014.

SENA, C. D. **RECEBIMENTO DE LODO DE ETA EM ETE POR LODO ATIVADO OPERANDO COM MÍDIA PLÁSTICA NO TANQUE DE AERAÇÃO (MBBR)**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

SILVA, J. F. A. et al. COMPORTAMENTO DO CONCRETO ASFÁLTICO COM LODO ORIUNDO DA ETA DA CIDADE DE MANAUS, EMPREGADO COMO FÍLER. **39ª Reunião Anual de Pavimentação**, RECIFE, PE, set. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322041011_COMPORTAMENTO_DO_CONCRETO_ASFALTICO_COM_LODO_ORIUNDO_DA_ETA_DA_CIDADE_DE_MANAUS_EMPREGADO_COMO_FILER. Acesso em: 04 abr. 2022.

SILVEIRA, ; KOGA, D. ; KURODA,. ESTUDO DA VIABILIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL DOS LODOS DE ETAS EM ATERROS SANITÁRIOS. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 251-265, 2013. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/675. Acesso em: 18 jun. 2022.

SINIR. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, 2019. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/mapas/gestao-residuos-solidos/>>. Acesso em: 11 mai 2022.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 20 mai 2022.

SOARES, L. V.; ACHON, C. L.; MEGDA, C. R. IMPACTOS AMBIENTAIS PROVOCADOS PELO LANÇAMENTO IN NATURA DE LODOS PROVENIENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA. **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**, Florianópolis, SC, p. 248-257, 2004. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/08/08-020.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2022.

SOBRINHO, A. D. M. et al. Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco. **Eng Sanit Ambient**, v. 24, n. 4, p. 761-771, jul/ago 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/YjyVxgCH7JqLyznfmG43LqH/?lang=pt>. Acesso em: 05 mai. 2022.

SOUZA, A. D. **TRATAMENTO DE ÁGUA**. Natal, RN: CEFET/RN, 2007.

SPOSITO, S.; SILVA, P. F. J. D. **Cidades Pequenas: perspectivas teóricas e transformações socioespaciais**. Jundiaí, SP: Paco Editorial, 2012.

TEIXEIRA, et al. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica** **52**, p. 215-220, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/6842>. Acesso em: 25 jul. 2022.

TEIXEIRA, S. R. et al. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) E DE ESGOTO (ETE) E O ESTUDO DA VIABILIDADE DE SEU USO PELA INDÚSTRIA CERÂMICA. **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Cancún, MX, 27 a 31 out 2002.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J.; SILVA, É. T. Aplicação de lodo de estação de tratamento de água em solo degradado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 91-94, jan. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250029897_Aplicacao_de_lodo_da_estacao_de_tratamento_de_agua_em_solo_degradado. Acesso em: 12 jan. 2022.

TERTOLINO DA SILVA, R. P.; BOTTREL, S. E.; PEREIRA, D. O. POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO ETA-JF/MG. **IX Congresso de Engenharias da Universidade Federal de São João del-Rei**, v. 2, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/coen-2019/papers/possibilidades-de-utilizacao-dos-residuos-de-estacao-de-tratamento-de-agua--estudo-de-caso-eta-jf-mg>. Acesso em: 02 jan. 2022.

TERTOLINO DA SILVA, P. et al. Avaliação do processo Fenton utilizando um resíduo como fonte alternativa de ferro para remoção de azul de metileno em meio aquoso. **Revista Matéria**, v. 26, n. 03, fev. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/pvftqWp7nnWCnd6NDWrMpSJ/?lang=pt>. Acesso em: 14 mar. 2022.

TSUGAWA, ; BOSCOV, M. E.. AMOSTRAGEM REPRESENTATIVA DO LODO DE ETA: UMA FERRAMENTA PARA DIMINUIR A VARIABILIDADE DOS RESULTADOS DE ENSAIOS. **1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**, p. 14-18, 2021. Disponível em: <https://www.ggga.ita.br/Anais%20LETA%202021.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

TSUTIYA, ; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do estado de São Paulo. **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo: ABES, 2001. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/286437584/Tsutiya-Hirata-Aproveitamento-e-Disposicao-Final-de-Lodos-de-Estacao-de-Tratamento-de-Agua>. Acesso em: 03 fev. 2022.

URBAN, ; ISAAC, D. L.; MORITA,. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. **Revista DAE**, v. 67, n. 219, out/dez 2019.

VALLENGE. **Plano Municipal de Saneamento de Cruzeiro, SP**. Prefeitura Municipal de Cruzeiro. Taubaté, SP, p. 326. 2011. Disponível em: <http://www.saaecruzeiro.com.br/web/upload//PLANO%20DE%20SANEAMENTO%20B%C3%81SICO.pdf>. Acesso: 13 fev. 2022.

VALLENGE. **Plano Municipal de Saneamento de Potim, SP**. Prefeitura Municipal de Potim. Taubaté, SP, p. 28. 2018. Disponível em: <https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnjDcnmkem?path=%2Fpotim-sp>. Acesso em: 13 fev. 2022.

VGR. Gestão de Resíduos. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/>. Acesso em: 26 abr 2022.

VILELLA, A. L. A. **DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA NAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARA E JUNDIAÍ - SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. 2011.

WOLFF, et al. A SUBSTITUIÇÃO DA ARGILA POR LODO DE ETA NA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA. **51º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Salvador, BA, jun 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242571143_A_SUBSTITUICAO_DA_ARGILA_POR_LODO_DE_ETA_NA_PRODUCAO_DE_CERAMICA_VERMELHA. Acesso em: 23 mar. 2022.

APÊNDICE A – Documentos consultados e links das fontes de pesquisas

Quadro 7 – Consultas realizadas para coleta de informações sobre as Estações de Tratamento de Água presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

UF	MUNICÍPIO	DOCUMENTO CONSULTADO	FONTE DE PESQUISA	
MINAS GERAIS	Além Paraíba	Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Além Paraíba, 2014	http://www.arsae.mg.gov.br/images/relatorios/Rf_tec_op_saa_alem_paraiba.pdf	
	Barbacena	Plano Municipal de Saneamento Básico de Barbacena, 2014	https://barbacena.mg.gov.br/arquivos/PMSB_ARBACENA_VERS%C3%83O_PRELIMINAR_30.01.pdf	
	Carangola	Plano Municipal de Saneamento Básico de Carangola, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/mineiros-2015/carangola.pdf	
	Cataguases	Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Cataguases, 2017	http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/Rf_tec_op_saa_cataguases.pdf	
	Juiz de Fora	Plano Municipal de Saneamento Básico de Juiz de Fora, 2014	https://planodesaneamento.pjf.mg.gov.br/o_plano.html	
	Leopoldina	Plano Municipal de Saneamento Básico de Leopoldina, 2017	http://sigaceivap.org.br:8080/publicacoesArquivos/arq_pubMidia_Processo_011-2013_P9-Leopoldina.pdf	
	Muriaé	Plano Municipal de Saneamento Básico de Muriaé, 2020	https://www.demsur.com.br/site/plano-municipal-de-saneamento-basico/	
	Santos Dumont		Plano Municipal de Saneamento Básico de Santos Dumont, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/mineiros-2015/santos-dumont.pdf
			Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água, 2021	http://www.arsae.mg.gov.br/panoramas/santos_dumont_copasa.pdf
			Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Santos Dumont, 2017	http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/Rf_tec_op_ses_santos_dumont.pdf
	São João Nepomuceno		Plano Municipal de Saneamento Básico de São João Nepomuceno, 2017	https://www.sjnepomuceno.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Primeira_revisao_do_PMSBCom_emendas?cdLocal=2&arquivo=%7B1EC71DD8-BD5D-D76E-7EBD-3E17EBAB6568%7D.pdf
			Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de São João Nepomuceno, 2021	http://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/rf_tec_op_saa_itui_e_araci.pdf
	Ubá		Plano De Gestão dos Serviços de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário do município de Ubá, 2015	https://www.uba.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Plano_de_Gestao_dos_Servicos_de_Abastecimento_de_Agua_Potavel_e_Esgotamento_Sanitario_de_Uba?cdLocal=2&arquivo=%7B0EE08ABD-23BA-AEA7-B8CD-B178066BCB16%7D.pdf
			Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Ubá, 2019	https://www.uba.mg.leg.br/menu-transparencia/cpi/cpi-crise-hidrica-2017/relatorio_29.pdf
Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Ubá, 2013			http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf_tec_op_saa_uba.pdf	

	Visconde do Rio Branco	Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Visconde do Rio Branco, 2014	http://www.arsae.mg.gov.br/images/Relatorios/Rf_tec_op_saa_visconde_do_rio_branco.pdf
UF	MUNICÍPIO	DOCUMENTO CONSULTADO	FONTE DE PESQUISA
RIO DE JANEIRO	Barra do Pirai	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Barra do Pirai, 2019	https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Planejamento%20Universaliza%C3%A7%C3%A3o%20-%20Pira%C3%AD.pdf
		Plano Municipal de Saneamento Básico de Barra do Pirai, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-barra-do-pirai.pdf
	Barra Mansa	Plano Municipal de Saneamento Básico de Barra Mansa, 2018	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fbarra-mansa-rj
	Bom Jardim	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Bom Jardim, 2019	https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Bom%20Jardim_0.pdf
		Plano Municipal de Saneamento de Bom Jardim, 2013	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fbom-jardim-rj
	Campos dos Goytacazes	Plano Municipal de Saneamento de Campos dos Goytacazes, 2013	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fcampos-dos-goytacazes-rj
	Cantagalo	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Cantagalo, 2019	https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Planejamento%20Universaliza%C3%A7%C3%A3o%20-%20S%C3%A3o%20Fid%C3%A9lis_1.pdf
	Conceição de Macabu	Plano Municipal de Saneamento de Cantagalo, 2013	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fconceicao-de-macabu-rj
	Cordeiro	Plano Municipal de Saneamento de Cordeiro, 2013	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fcordeiro-rj
	Itaocara	Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água, 2019	https://cedae.com.br/portals/0/relatorio_anual/2020/ITAOCARA.pdf
		Plano Municipal de Saneamento de Itaocara, 2013	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fitaocara-rj
	Itaperuna	Relatório de Fiscalização: Sistema de Abastecimento de Água da sede do Município de Itaperuna, 2017	http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/relatfisc/cedae/itaperuna/2017/2017-01.pdf
		Plano Municipal de Saneamento de Itaperuna, 2015	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fitaperuna-rj
	Itatiaia	Plano Municipal de Saneamento de Itatiaia, 2014	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fitatiaia-rj
	Miguel Pereira	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Município Miguel Pereira, 2013	https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/rj/miguel-pereira
		Plano Municipal de Saneamento de Miguel Pereira, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-miguel-pereira.pdf
Miracema	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Município Miguel Pereira, 2013	https://www.concessaosaneamentorj2021.rj.gov.br/sites/concessaosaneamento2021/files/arquivos_paginas/Planejamento%20Universaliza%C3%A7%C3%A3o%20-%20S%C3%A3o%20Fid%C3%A9lis_1.pdf	

	Plano Municipal de Saneamento de Miracema, 2020	http://18.229.168.129:8080/publicacoesArquivos/ceivap/arq_pubMidia_Processo_077-2019_P08.pdf
Nova Friburgo	Plano Municipal de Saneamento de Nova Friburgo, 2015	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fnova-friburgo-rj
Paraíba do Sul	Plano Municipal de Saneamento de Paraíba do Sul, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-paraiba-do-sul.pdf
Paty do Alferes	Plano Municipal de Saneamento de Paty do Alferes, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-paty-do-alferes.pdf
Petrópolis	Plano Municipal de Saneamento de Petrópolis, 2014	http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/SEAS/PMSB%20-%20PETROPOLIS.pdf
Pinheiral	Plano Municipal de Saneamento de Pinheiral, 2015	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fpinheiral-rj
Piraí	Plano Municipal de Saneamento de Piraí, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-pirai.pdf
Porto Real	Plano Municipal de Saneamento de Porto Real, 2015	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-porto-real.pdf
Quissamã	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de Quissamã, 2019	https://infosanbas.org.br/municipio/quissama-rj/
	Plano Municipal de Saneamento de Quissamã, 2010	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fquissama-rj
Resende	Plano Municipal de Saneamento de Resende, 2014	https://resende.rj.gov.br/images/PlanoMunicipal deSaneamentoBasico.pdf
Santo Antônio de Pádua	Plano Municipal de Saneamento de Santo Antônio de Pádua, 2019	http://santoantoniodepadua.rj.gov.br/conteudo/18/plano_municipal_de_saneamento_basico
São Fidélis	Plano Municipal de Saneamento de São Fidélis, 2012	https://www.ceivap.org.br/saneamento/saofidelis/Produto-3-Characterizacao-Municipal-Sao-Fidelis.pdf
São Francisco do Itabapoana	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de São Francisco do Itabapoana, 2019	https://xdocs.com.br/doc/planejamento-universalizacao-s-fr-de-itabapoana-6nw53g3pv1n1
	Plano Municipal de Saneamento de São Francisco do Itabapoana, 2013	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fsao-francisco-de-itabapoana-rj
São João da Barra	Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Município de São João da Barra, 2019	https://infosanbas.org.br/municipio/sao-joao-da-barra-rj/
	Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água, 2019	https://cedae.com.br/portals/0/relatorio_anual/2020/S%C3%83O%20JO%C3%83O%20DA%20BARRA.pdf
São José do Vale do Rio Preto	Plano Municipal de Saneamento de São José do Vale do Rio Preto, 2015	https://www.sjvriopreto.rj.gov.br/uploads/pagina_dinamica/28757/PLANO_MUNICIPAL_DE_SANEAMENTO__Relatorio_Sintese.pdf
Teresópolis	Plano Municipal de Saneamento de Teresópolis, 2015	http://comitepiabanha.org.br/conteudo/teresopolis-vf.pdf

	Três Rios	Plano Municipal de Saneamento de Três Rios, 2016	https://tresrios.rj.gov.br/wp-content/uploads/2022/02/Anexo-da-LEI-4.593-2019-PMSB.pdf
	Valença	Plano Municipal de Saneamento de Valença, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-valenca.pdf
	Vassouras	Plano Municipal de Saneamento de Vassouras, 2014	https://ceivap.org.br/saneamento/pmsb-fluminenses/pmsb-vasouras.pdf
	Volta Redonda	Plano Municipal de Saneamento de Volta Redonda, 2015	https://infosanbas.org.br/municipio/volta-redonda-rj/
UF	MUNICÍPIO	DOCUMENTO CONSULTADO	FONTE DE PESQUISA
SÃO PAULO	Aparecida	Plano Municipal de Saneamento de Aparecida, 2011	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Faparecida-sp
	Caçapava	Plano Municipal de Saneamento de Caçapava, 2011	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fcacapava-sp
	Cachoeira Paulista	Plano Municipal de Saneamento de Cachoeira Paulista, 2011	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fcachoeira-paulista-sp
	Cruzeiro	Plano Municipal de Saneamento de Cruzeiro, 2011	http://www.saaecruzeiro.com.br/web/upload//PLANO%20DE%20SANEAMENTO%20B%C3%81SICO.pdf
	Cunha	Plano Municipal de Saneamento de Cunha, 2006	Plano – Saneamento Básico – Prefeitura Municipal de Cunha
	Guararema	Plano Municipal de Saneamento de Guararema, 2017	http://www.guararema.sp.gov.br/1016/anteprojeto+de+lei/plano+municipal+de+saneamento+bsico/
		Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água, 2019	http://www.sabesp.com.br/calandraweb/toq/2019/GUARAREMA.pdf
	Guaratinguetá	Plano Municipal de Saneamento de Guaratinguetá, 2016	https://guaratingueta.sp.gov.br/wp-content/uploads/2017/01/Revis%C3%A3o-PMISB-Guaratinguet%C3%A1-2016.pdf
	Jacareí	Plano Municipal de Saneamento de Jacareí, 2011	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fjacarei-sp
	Lorena	Plano Municipal de Saneamento de Lorena, 2011	http://www.lorena.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/0872_RT_12_S_2004_02_Lorena.pdf
	Pindamonhangaba	Plano Municipal de Saneamento de Pindamonhangaba, 2011	https://www.pindamonhangaba.sp.gov.br/site/wp-content/uploads/2018/10/plano-de-saneamento.pdf
		Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água, 2020	http://www.sabesp.com.br/calandraweb/TOQ/2020/PINDAMONHANGABA.pdf
	Potim	Plano Municipal de Saneamento de Potim, 2018	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fpotim-sp
	Santa Isabel	Plano Municipal de Saneamento de Santa Isabel, 2011	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fsanta-isabel-sp
	São José dos Campos	Plano Municipal de Saneamento de São José dos Campos, 2012	https://app.rios.org.br/index.php/s/WKXCATnJDcnmkem?path=%2Fsao-jose-dos-campos-sp
	Taubaté	Plano Municipal de Saneamento de Taubaté, 2013	https://www.taubate.sp.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/PLANO-MUNICIPAL-DE-SANEAMENTO-B%C3%81SICO-FINAL.pdf
Informativo Anual Sobre a Qualidade da Água, 2020		http://www.sabesp.com.br/calandraweb/TOQ/2020/TAUBATE.pdf	
Tremembé	Plano Municipal de Saneamento de Tremembé, 2011	https://www.tremembe.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/0872_RT_12_S_3704_02_Tremembe.pdf	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).