

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

IGOR FONSECA VENTURA

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE GESTÃO DE LODO DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO, NA CIDADE DE MACEIÓ -
ALAGOAS**

MACEIÓ-AL
2025

IGOR FONSECA VENTURA

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE GESTÃO DE LODO DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO, NA CIDADE DE MACEIÓ -
ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Profa. Dra. Nélia Henriques
Callado.

Maceió
2025

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

V468d Ventura, Igor Fonseca.

Diagnóstico e proposta de gestão de lodo de uma estação de tratamento de água de ciclo completo, na cidade de Maceió - Alagoas / Igor Fonseca Ventura. – 2025.
50 f.: il.

Orientadora: Nélia Henriques Callado.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 46-50.

1. Águas residuais - Purificação. 2. Estações de tratamento de água residuárias. 3. Lodo residual. I. Título.

CDU: 628.1

Folha de Aprovação

IGOR FONSECA VENTURA

DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE GESTÃO DE LODO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO, NA CIDADE DE MACEIÓ – ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
NELIA HENRIQUES CALLADO
Data: 29/05/2025 12:45:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora: Profa. Dra. Nélia Henriques Callado
(Universidade Federal de Alagoas)



Documento assinado digitalmente
MANOEL MARIANO NETO DA SILVA
Data: 29/05/2025 13:56:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno: Prof. Dr. Manoel Mariano Neto da Silva
(Universidade Federal de Alagoas)



Documento assinado digitalmente
MARCIO GOMES BARBOZA
Data: 29/05/2025 14:20:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno: Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza
(Universidade Federal de Alagoas)

RESUMO

A disposição direta do resíduo bruto gerado em estações de tratamento de água, em corpos hídricos, é prática bastante comum na indústria da água nacional. Consequentemente, a geração de impactos ambientais negativos, como a contaminação de rios e solos, assim como o potencial risco à saúde humana revelam a necessidade de se investigar maneiras de reutilização desse resíduo. Sendo assim, o presente trabalho objetiva avaliar alternativas de gestão de lodo de uma ETA de ciclo completo, visando aumentar seu potencial ambiental e socioeconômico, na cidade de Maceió (Alagoas). Para isso, as metodologias empregadas consistem em experimentos laboratoriais, para a caracterização do resíduo, e em pesquisas bibliométricas, para o levantamento de possibilidades e critérios de reúso. Quanto aos resultados, além do diagnóstico do resíduo coletado, identificou-se a indústria da cerâmica vermelha como a proposta de reúso a ser analisada, assim como definiu-se os critérios de comparação utilizados. Por fim, conclui-se que o lodo produzido pela ETA analisada possui algumas características viáveis à sua aplicação, como aditivo, na cerâmica vermelha. Porém, mais ensaios laboratoriais são necessários para avaliar seu potencial prático de aplicação.

Palavras-chave: Tratamento de Água de Abastecimento; Resíduo de ETA; Reúso de Lodo de ETA.

ABSTRACT

The direct disposal of raw waste generated in water treatment plants, in water bodies, is a very common practice in the national water industry. Consequently, the generation of negative environmental impacts, exemplified by river and soil contamination, as well as the potential risk to human health reveal the need to investigate ways of reusing this waste. Therefore, the present study aims to evaluate sludge management alternatives for a full cycle water treatment plant, in order to increase its environmental and socioeconomic potential, in the city of Maceió (Alagoas). To achieve this, the methodologies used consist laboratory experiments, to characterize the waste, and bibliometric research, to survey possibilities and criteria for reuse. Regarding the results, in addition to the diagnosis of the collected residue, the red ceramic industry was identified as the proposal for reuse to be analyzed, as well as the comparison criteria used were defined. Finally, it is concluded that the sludge produced by the WTP presented has some viable characteristics for its application, as an additive, in red ceramics. However, more laboratorial tests are necessary to evaluate its practical application potential.

Keywords: Water supply treatment; WTP waste; WTP waste reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma de estudo: metodologias	23
Figura 2 - Mapa de localização da ETA Pratagy.....	24
Figura 3 - Mapa de captação do rio Pratagy.....	24
Figura 4 - Diagrama ilustrativo	25
Figura 5 – Amostras: Decantador	27
Figura 6 - Amostras: Filtro	28
Figura 7 - Organograma de estudo: resultados	32
Figura 8 - Resultados de cor: Filtro	34
Figura 9 - Resultados de Cor: Decantador	34
Figura 10 - Resultados de Turbidez: Filtro.....	35
Figura 11 - Resultados de Turbidez: Decantador	35
Figura 12 - Rede de interação: co-ocorrência.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Metodologia de caracterização de resíduos	28
Quadro 2 - Artigos revisados: Cerâmica vermelha	40
Quadro 3 - Resultados da caracterização de lodo	42
Quadro 4 - Resultados da caracterização de lodo	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações gerais da ETA Pratagy	26
Tabela 2 - Parâmetros hidráulicos: produção volumétrica	30
Tabela 3 - Caracterização do resíduo: pH, cor, turbidez e DQO	33
Tabela 4 - Caracterização do resíduo: Sólidos	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	Alagoas
ALAF	Água de Lavagem de Filtro
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
GM	Gabinete do Ministério
LETA	Lodo de Estação de Tratamento de Água
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira
PAC	Cloreto de Polialumínio
PDA	Plano Diretor de Água
PH	Potencial Hidrogeniônico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UTR	Unidade de Tratamento de Resíduos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Abastecimento de água.....	15
3.2 Tratamento de águas de abastecimento	16
3.3 Características do lodo de estações de tratamento de água.....	18
3.4 Tratamento do lodo de estações de tratamento de água.....	19
3.5 Impactos advindos da disposição incorreta do lodo de estações de tratamento de água.....	20
3.6 Gestão alternativa de lodo	21
4 MÉTODOS.....	23
4.1 Local de Estudo	23
4.2 Pesquisa Bibliométrica.....	26
4.2.1 Levantamento de possibilidades de reúso de lodo	26
4.2.2 Levantamento de critérios de comparação de lodo.....	26
4.3 Amostragem do lodo	27
4.4 Caracterização de resíduos.....	28
4.4.1 Caracterização físico-química	28
4.5 Estimativas de produção de resíduo	28
4.5.1 Produção volumétrica.....	28
4.5.2 Produção mássica.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.1 Caracterização do resíduo	32
5.1.1 Caracterização Físico-Química	32
5.1.2 Produção Volumétrica	36
5.1.3 Produção Mássica.....	37
5.2 Pesquisa Bibliométrica.....	38
5.2.1 Identificação de possibilidades de reúso do lodo	38
5.2.2 Definição de critérios de comparação	39
5.2.3 Levantamento de critérios de comparação por meio de análise de artigos.....	40

5.2.4 Comparação entre lodo da ETA PRATAGY e critérios levantados	44
6 Conclusão	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, a constituição físico-química dos lodos de estação de tratamento de água (LETA), assim como das águas de lavagem dos filtros (ALAF) está intimamente ligada à fatores como a qualidade de água bruta captada, o tipo de substância química utilizada na coagulação/floculação e desinfecção, o tempo de detenção nos processos de tratamento e a presença de lançamentos de efluentes de terceiros a montante da área de captação (Libânio, 2016).

Desse modo, esses resíduos possuem grandes variações em suas características físicas, a exemplo da concentração de sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), cor e granulometria; e químicas, a exemplo da demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, nitrogênio, fósforo e metais. Quanto às características biológicas, há também possibilidade da presença de bactérias, vírus, protozoários e algas (Libânio, 2016).

Somado a isso, a escassez de estudos sobre o tema no Brasil, em adição à negligência de aplicação da gestão do lodo em ETAs já existentes, cria um cenário de agravamento dos impactos causados por sua disposição incorreta. Tal cenário é, em parte, causado devido à priorização do país pelo estudo de soluções voltadas à gestão de lodo de estações de tratamento de esgoto, desincentivando a produção de estudos com foco no processo de tratamento das águas de abastecimento e, conseqüentemente, reduzindo o potencial nacional para a contribuição de avanços e inovações no meio (Achon *et al.*, 2013).

No Brasil, há cerca de 7500 ETAs, grande parte de ciclo completo, isto é, com processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Entretanto, a disposição indiscriminada dos resíduos gerados em corpos hídricos locais é característica amplamente compartilhada entre elas (Leão *et al.*, 2022; Cordeiro *et al.*, 1999). Em análise comparativa, Cornwell *et al.* (2000), apresentam um levantamento das formas de disposição final utilizadas pelas ETAs dos Estados Unidos, segundo a base de dados WATERSTATS. Como resultado, evidenciou-se que 25% das ETAs destinam seu lodo em terrenos e apenas 11% são dispostos em corpos hídricos.

Paralelamente, Simpson *et al.* (2002), expõem que 52% das ETAs dispõe seus resíduos em aterros sanitários, enquanto somente 2% lançam em corpos hídricos. Os estudos citados mostram a mobilização antecipada de outros países a respeito da

necessidade de se pensar na gestão dos resíduos de ETA por um viés ambiental, assim como da seriedade de seus impactos.

Em contrapartida, historicamente, no cenário nacional percebe-se uma realidade inversa em relação ao cenário internacional. No estado de São Paulo, evidenciado por Morita *et al.* (2002), a maior parte das ETAs lançam o lodo no corpo hídrico mais próximo, sem tratamento prévio. Similarmente, em Minas Gerais, segundo o Ministério Público do Estado de Minas Gerais (2009), dentre 175 municípios analisados, 87% de suas ETAs dispõe seus resíduos em corpos hídricos, sem tratamento, e apenas 3% possuem Unidades de Tratamento de Resíduos (UTR). A situação exposta persiste atualmente agravando cada vez mais os impactos ambientais causados pelo despejo irregular (Rodgher *et al.*, 2023) e evidenciando o cenário crítico nacional frente à gestão do LETA no país.

Tratando dos impactos causados por esse cenário, a presença de metais no LETA, a exemplo do alumínio proveniente dos coagulantes utilizados, representa grave risco, devido a seu potencial de sedimentação e danificação do leito bentônico de corpos hídricos, além da contaminação de espécies aquáticas quando dissolvido (Oliveira *et al.*, 2023). Em adição, faz-se importante mencionar que o LETA é classificado como resíduo sólido, mediante NBR 10.004 (ABNT, 2004). Portanto, sua disposição irregular pode causar altos níveis de poluição e, consequentemente, ser considerada crime ambiental, fato corroborado pelo artigo nº 54 da Lei Federal Nº 9.605/1998 - Lei de Crimes Ambientais (Brasil, 1998).

O reaproveitamento do LETA como recurso básico de outros mercados apresenta uma grande oportunidade frente ao cenário econômico nacional. Segundo Cornwell *et al.* (2000), usos como a aplicação em solo de agricultura, a manufatura de cimento e a aplicação em pomares de frutas cítricas estão entre 13 mercados com potencial de se beneficiar com os resíduos do processo de tratamento, mediante testes físico-químicos e medidas corretivas, caso necessário.

Com base exposto, evidencia-se o cenário crítico do país atualmente, tanto devido à constante prática de despejos ilegais, quanto à falta de incentivo ao fomento da criação de novas literaturas sobre o assunto.

O presente trabalho está situado na cidade de Maceió, Alagoas. O resíduo analisado é proveniente de água captada na bacia hidrográfica do Pratagy e disposta na bacia hidrográfica do Jacarecica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar alternativas de gestão de lodo de uma ETA de ciclo completo, visando aumentar seu potencial ambiental e socioeconômico.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o lodo produzido pela ETA Pratagy;
- Identificar possibilidades de reúso de lodo;
- Definir critérios de comparação de lodo;
- Comparar o lodo produzido com as possibilidades de reúso selecionadas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo objetiva apresentar o embasamento teórico relacionado à temática proposta e busca contextualizar o estudo partindo de aspectos mais abrangentes e, gradualmente, especificar ao tema de estudo. Dessa forma, compreende os tópicos: Abastecimento de água, Tratamento de águas de abastecimento, Características e Tratamento do lodo de ETAs, Impactos advindos da disposição incorreta do lodo, Levantamento de possibilidades de gestão alternativa do lodo e análise dos critérios para a implementação desse reúso.

3.1 Abastecimento de água

O abastecimento de água constitui um fator de suma importância para o desenvolvimento social moderno, seja no controle e eliminação de doenças ou na melhoria da qualidade de vida das populações. Sendo assim, a distribuição de água em quantidade e qualidade adequadas é grande prioridade das populações mundiais. Ademais, o abastecimento é relevante na redução da proliferação de doenças infecciosas, assim como no beneficiamento direto à saúde humana, pela higiene pessoal, preparação de alimentos, limpeza de ambientes e hidratação corporal (Tsutiya, 2006; Miranda *et al.*, 2007).

Quanto à legislação de saneamento nacional, destaca-se a Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000, a qual institui a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), implementada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/ 1997), assim como o Marco Legal do Saneamento (Lei nº 11.445/ 2007), atualizada pela Lei nº 14.026/ 2020, a qual determinou a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.

Quanto à realidade operacional de sistemas de abastecimento de água. No Brasil, 13.600 prestadores de serviço representam um alcance de 85% da população, com perdas físicas de 38% (SNIS, 2023). Já nos Estados Unidos, em análise comparativa, aproximadamente 150.000 sistemas de abastecimento resultam em cerca de 90% da população atendida, com perdas de cerca de 8 trilhões de litros por ano (EPA, 2024). Apesar do exposto, ambos os países lidam com um número significativo de abastecimento por poços privados (EPA, 2024; SNIS, 2023), os quais muitas vezes não possuem monitoramento e, conseqüentemente, representam fontes de risco à saúde pública.

3.2 Tratamento de águas de abastecimento

O tipo de sistema de tratamento de água escolhido está intimamente ligado a fatores como: a qualidade da água bruta captada, a quantidade de capital disponível para sua aplicação e características socioeconômicas da população a ser atendida, como sua capacidade de apropriação das tecnologias implementadas (Libânio, 2016). Vale ressaltar que o Brasil possui norma específica para o estabelecimento de critérios de adequação para as diversas tecnologias disponíveis. Nesse âmbito, destaca-se a NBR 12.216 (ABNT, 1992), a qual estabelece condições exigidas para a concepção de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), assim como a Resolução CONAMA n° 357/2005, a qual estabelece critérios de adoção de tecnologias com base no enquadramento de corpos de água (Brasil, 2005).

Dentre os sistemas de tratamento existentes, releva-se a Estação de Tratamento de Água (ETA) de ciclo completo, variedade de tratamento mais robusta e largamente utilizada para o abastecimento de grandes populações. Entende-se por Estação de Tratamento de Água (ETA) o conjunto de unidades operacionais com objetivo de tratar a água de modo a adequar suas características aos padrões de potabilidade (Tsutiya, 2006). No Brasil, os padrões físicos, químicos e microbiológicos da água potável estão dispostos na Portaria GM/MS n° 888/ 2021, do Ministério da Saúde. Em adição ao conceito apresentado, a variedade de ciclo completo se refere ao emprego de todas as etapas tradicionais de tratamento, sendo elas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e tratamento de lodo (Brasil, 2021).

A coagulação se refere ao processo de adição de um produto químico como coagulante, com objetivo de precipitar compostos em solução e desestabilizar suspensões coloidais de partículas sólidas (Oliveira *et al.*, 2023). Para isso, utiliza-se uma mistura rápida, a qual distribui o produto químico rapidamente e de forma homogênea no fluxo.

Com isso, as partículas ficam propensas à formação posterior de flocos com granulometrias maiores, facilitando sua remoção. Desse modo, a eficácia da coagulação determinará o sucesso das demais etapas de tratamento. Dentre os coagulantes mais utilizados, cita-se: sulfato de alumínio, Cloreto de Polialumínio (PAC), sulfato ferroso e cloreto férrico. Além disso, esse processo pode ocorrer tanto de forma mecânica, com agitadores mecanizados, quanto de forma hidráulica, por ressaltos hidráulicos e vertedores (NBR 12.216, ABNT 1992). Dentre os mecanismos

de coagulação existentes, destaca-se a adsorção-desestabilização, a qual consiste na adsorção de partículas hidrolisadas positivas na superfície das partículas em solução.

Essa interação ocorre em grandes gradientes de velocidade e possui intervalo de duração de menos de 1 segundo. Esse mecanismo predomina em tecnologias de filtração direta. Já nas tecnologias de ciclo completo, predomina o mecanismo de varredura, o qual consiste na adsorção das partículas coloidais e no envolvimento das partículas suspensas pelo coagulante. Em comparação com a adsorção-desestabilização, ele ocorre com maiores dosagens de coagulante, à medida que o pH aumenta (Libânio, 2016).

A floculação, etapa posterior à coagulação, consiste no processo de formação de flocos pela agregação das partículas previamente desestabilizadas, por meio de condições de tempo e velocidade favoráveis. Dessa forma, sua remoção é facilitada por processos de decantação e filtração (Oliveira *et al.* 2023; Libânio, 2016). Menciona-se também que o tempo é um grande diferencial entre esse processo e a coagulação, os quais ocorrem em menos de 10 segundos e de 20 a 45 minutos, respectivamente (Crittenden *et al.*, 2012). Similarmente à coagulação, a floculação pode ser realizada por meios mecânicos, a exemplo de agitadores mecanizados, ou hidráulicos, como os canais com chicanas (NBR 12.216; ABNT, 1992).

Posteriormente, a decantação por sedimentação consiste na remoção do material floculado, pela ação da gravidade, o qual é depositado no fundo dos decantadores. Com isso, essa etapa demonstra a eficiência das etapas que a precederam e objetiva diminuir o aporte de partículas para as unidades filtrantes. Devido à quantidade de sólidos removidos pela decantação, destaca-se a grande relevância dessa operação na geração do lodo, o qual deve ser removido periodicamente dos decantadores, usualmente por descarga hidráulica ou raspadores de fundo (Muralikrishna *et al.*, 2017; Libânio, 2016).

Após os decantadores, a filtração descendente consiste no processo de remoção das partículas remanescentes (contidas em um sistema difásico de partículas e água), por meio da passagem desse sistema difásico em meios porosos, de forma descendente (Muralikrishna *et al.*, 2017). Com isso, remove-se as partículas responsáveis pela cor, turbidez e pela proteção de patógenos durante o processo de desinfecção. Outro aspecto de grande relevância nessa operação é a limpeza dos filtros, a qual se dá pelo emprego de fluxo de água contrário à direção de filtração, no

leito filtrante, removendo as partículas captadas pelo processo. Portanto, em conjunto com o lodo gerado nos decantadores, as águas de lavagem de filtro (ALAF) representam parte relevante dos resíduos gerados por uma ETA de ciclo completo (Crittenden *et al.*, 2012; Libânio, 2016).

A última etapa do processo de tratamento tradicional de águas de abastecimento é a desinfecção, a qual objetiva a remoção de microrganismos patogênicos. Sendo assim, tanto a desativação, quanto a esterilização são empregadas nesse processo, as quais, respectivamente, bloqueiam sua reprodução e capacidade de transmitir enfermidades e exterminam qualquer tipo de microrganismo, patogênico ou não (Libânio, 2016). O produto químico mais comumente empregado para a desinfecção é o cloro. Esse tratamento também pode ser realizado pelos tratamentos com ozônio e radiação UV, os quais necessitam de posterior cloração para a geração de cloro residual livre na água tratada, de forma a obedecer ao exposto na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde.

3.3 Características do lodo de estações de tratamento de água

Levando em consideração o exposto sobre os processos de uma estação de tratamento, faz-se importante uma maior investigação a respeito dos resíduos gerados no processo. Como foi citado, os resíduos de ETA são compreendidos pelo lodo gerado nos decantadores (maior quantidade mássica) e pela água de lavagem dos filtros (maior quantidade volumétrica), em adição aos resíduos advindos das partículas sedimentadas no processo de floculação.

Quanto a caracterização desse resíduo, cita-se características químicas como: presença de metais pesados, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, alcalinidade e nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio), os quais influenciam as opções de reúso e disposição do LETA. Quanto às características físicas, destacam-se os sólidos (totais, suspensos, dissolvidos e voláteis), densidade, umidade e concentração de sólidos, fatores utilizados para a medição do potencial de desaguamento do lodo (Soares *et al.*, 2014; Barakwan *et al.*, 2019).

A granulometria, a mineralogia e as características plásticas do LETA também possuem grande relevância em suas propriedades mecânicas e térmicas, como a resistência ao cisalhamento e ao aquecimento/ resfriamento (Oliveira *et al.*, 2023; Orlov *et al.*, 2020). Quanto a composição desse resíduo, cita-se a matéria orgânica

proveniente da água captada, composta por microrganismos (bactérias, vírus, protozoários) e partículas sólidas em suspensão, assim como o potencial de solubilização e lixiviação desses compostos (Reis *et al.*, 2024). Ademais, os compostos químicos utilizados nos processos de coagulação também estão presentes no lodo gerado, a exemplo do sulfato de alumínio e cloreto férrico (Soares *et al.*, 2014).

3.4 Tratamento do lodo de estações de tratamento de água

O tratamento do lodo gerado pelas ETAs é de grande importância devido à necessidade de reduzir seu volume e, conseqüentemente, se obter uma gestão mais econômica. Os sistemas de tratamento e disposição de lodo podem ser compreendidos por: adensamento, condicionamento, desidratação, secagem, recuperação e disposição final.

Sistemas como o adensamento, a desidratação e a secagem objetivam a redução do volume do lodo por meio do aumento de seu percentual de sólidos. Entende-se adensamento como o processo físico de separação entre sólido e líquido, a exemplo de dispositivos decantadores e flotadores. Já a desidratação, caso seja realizada de forma mecânica, diz respeito à utilização de dispositivos mecânicos, como prensas e centrífugas, para a separação entre sólido e líquido. Quanto à secagem, pode-se definir essa categoria como tratamento por desidratação não-mecânica, devido ao uso da evaporação de água em leitos e lagoas de secagem (U.S. EPA, 2011; Libânio, 2016). A desidratação de forma mecânica, em comparação à secagem, possui desvantagens, como a necessidade de energia e de alta especialização dos operadores, além do alto custo de manutenção. Porém, quanto aos leitos de secagem, aspectos como a necessidade de grandes áreas de instalação e, conseqüentemente, o grande custo de capital impedem essa tecnologia de ser aplicada por um grande número de ETAs.

Dando continuidade às categorias apresentadas, o condicionamento está atrelado à utilização de produtos químicos para alterar as propriedades do lodo (Miranda *et al.*, 2007), a exemplo da adição de polímeros para aumentar a concentração de sólidos ao final do processo de secagem e, conseqüentemente, reduzir a área necessária para sua aplicação.

Quanto à recuperação, essa categoria se refere ao tratamento via ácidos e bases, com objetivo de reciclagem e adequação do lodo a disposições específicas como o uso agrícola. Por fim, a categoria de disposição final se refere aos meios de descarte

do lodo, sejam eles em aterros sanitários, plantações ou reúso em outras indústrias. Vale ressaltar que a água resultante da diminuição de volume dos processos mencionados é retornada ao fluxo de tratamento, proporcionando, assim, a reutilização desse resíduo (U.S. EPA, 2011; Libânio, 2016).

3.5 Impactos advindos da disposição incorreta do lodo de estações de tratamento de água

A disposição do lodo em corpos de água possui grande potencial de causar impactos ambientais negativos, não só ao manancial receptor, como também à população que venha a ter contato com a água contaminada. Com isso, entende-se por disposição inadequada de lodo aquela que cause a degradação da qualidade ambiental, sendo caracterizada como poluição mediante artigo 3º da Lei Federal 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente). Dessa forma, como fonte de julgamento para o potencial de degradação ambiental, deve-se levar em consideração os critérios de lançamento de efluentes dispostos na resolução CONAMA 430/ 2011. Em adição, faz-se importante mencionar que o LETA é classificado como resíduo sólido, mediante NBR 10004:1992. Dessa maneira, sua disposição irregular pode causar altos níveis de poluição e, conseqüentemente, ser considerada crime ambiental, fato corroborado pelo artigo 54 da Lei Federal Nº 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais).

Os poluentes que podem estar presentes no LETA recebem influência das condições da fonte hídrica (sólidos suspensos, compostos orgânicos) e dos processos de tratamento empregados (desinfetantes e coagulantes químicos). Sendo assim, cita-se como poluentes a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), os sólidos suspensos totais (SST), óleos e graxas, pH, microrganismos, demanda química de oxigênio (DQO), poluentes metálicos e poluentes orgânicos e inorgânicos não convencionais (U.S. EPA, 2011). Dentre eles, os sólidos são os poluentes mais comuns no LETA, particularmente os suspensos, os quais são compostos por partículas inorgânicas (a exemplo de areia, silte e argila) e orgânicas (a exemplo de compostos floculados, como bactérias, algas e protozoários). Tendo isso em vista, entende-se por que a remoção desse poluente é contemplada na maioria dos processos de uma ETA convencional.

Levando em consideração a composição dos sólidos presentes no LETA, destaca-se os diferentes impactos ambientais causados nos corpos receptores. Os sólidos,

por meio da deposição nos leitos, podem criar assoreamentos e depósitos de substâncias tóxicas, alterando a hidrodinâmica dos corpos receptores e contaminando espécies bentônicas. Quanto aos sólidos suspensos, cita-se o aumento da turbidez e da cor dos corpos receptores, aspectos que causam a diminuição da penetração de luz solar na água, limitando o crescimento de espécies aquáticas enraizadas e, conseqüentemente removendo o abrigo de animais aquáticos. Já os sólidos dissolvidos têm potencial de afetar a eficiência de sistemas de abastecimento a jusante e alterar as características químicas da água, tornando-a tóxica para os organismos habitantes (U.S. EPA, 2011; Libânio, 2016).

Os metais, a exemplo do alumínio, geram risco de bioacumulação se são tóxicos quando dissolvidos, podendo causar danos diretos às espécies aquáticas (Hidayati *et al.*, 2013). Em adição, a utilização de cloro como desinfetante do lodo contribui para a presença desse composto nos corpos receptores, o qual, em sua forma livre, é tóxico para organismos aquáticos e tem possibilidade de reagir com compostos orgânicos na formação de trihalometanos, os quais também são tóxicos (U.S. EPA, 2011).

A abundância de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio são responsáveis pelo fenômeno de eutrofização de corpos hídricos, devido a serem fatores limitantes de crescimento, ocasionando a proliferação indiscriminada de algas e, conseqüentemente, a diminuição de oxigênio dissolvido e o impedimento da realização da fotossíntese pela vegetação bentônica, devido ao acúmulo superficial de algas (Soares *et al.*, 2014). Protozoários como os do gênero *Cryptosporidium* e *Giardia* representam grande risco para a saúde humana devido a proliferação de seus oocistos e cistos, respectivamente, mediante contato com material fecal no fluxo de água de tratamento. Esses organismos são muito pequenos para a eliminação por barreiras físicas e são resistentes a grande parte de desinfetantes, como o cloro (Karanis *et al.*, 2007). Com isso, destaca-se o risco de acometimento por diarreias médias e graves devido ao contato, principalmente, com os oocistos desses protozoários (Kotloff *et al.*, 2013).

3.6 Gestão alternativa de lodo

A gestão alternativa do LETA significa tanto o aumento do potencial ambiental e social dos produtores de água, já que atua na preservação da água, do solo e da saúde humana, quanto a possibilidade de maiores retornos financeiros, devido à utilização do LETA como matéria prima em outros processos de produção.

É importante destacar as crescentes desvantagens do método de disposição convencional de lodo: a aplicação em aterros sanitários. Esse método não só requer o transporte e aplicação de sistemas de controle de poluição, aspectos de custos crescentes, como também apresenta o risco de contaminação devido a lixiviação de contaminantes, a exemplo dos metais pesados. Dessa forma, a quantidade de despesas necessárias para essa variedade de disposição torna os métodos de gestão alternativa mais vantajosos para os produtores de água (Pellegrino *et al.*, 2016; Reis *et al.*, 2024).

Segundo Cornwell *et al.* (2000), usos como a aplicação em solo de agricultura, a manufatura de cimento, de tijolos cerâmicos e a aplicação em pomares de frutas cítricas estão entre 13 mercados com potencial de se beneficiar com os resíduos do processo de tratamento, mediante testes físico-químicos e medidas corretivas, caso necessário. Apesar da distância temporal da pesquisa citada, a reutilização do LETA nos mercados indicados persiste como meio viável de evitar a geração de impactos ambientais negativo.

A aplicação do LETA no mercado da cerâmica possui destaque dentre as alternativas possíveis, principalmente devido à grande presença dessa indústria no Brasil. O lodo produzido possui composição similar à argila utilizada para a fabricação de produtos cerâmicos, como pH, composição de sólidos, perdas por ignição e compostos voláteis, sendo favorável para o processo de sinterização (Urban *et al.*, 2023; Reis *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2023).

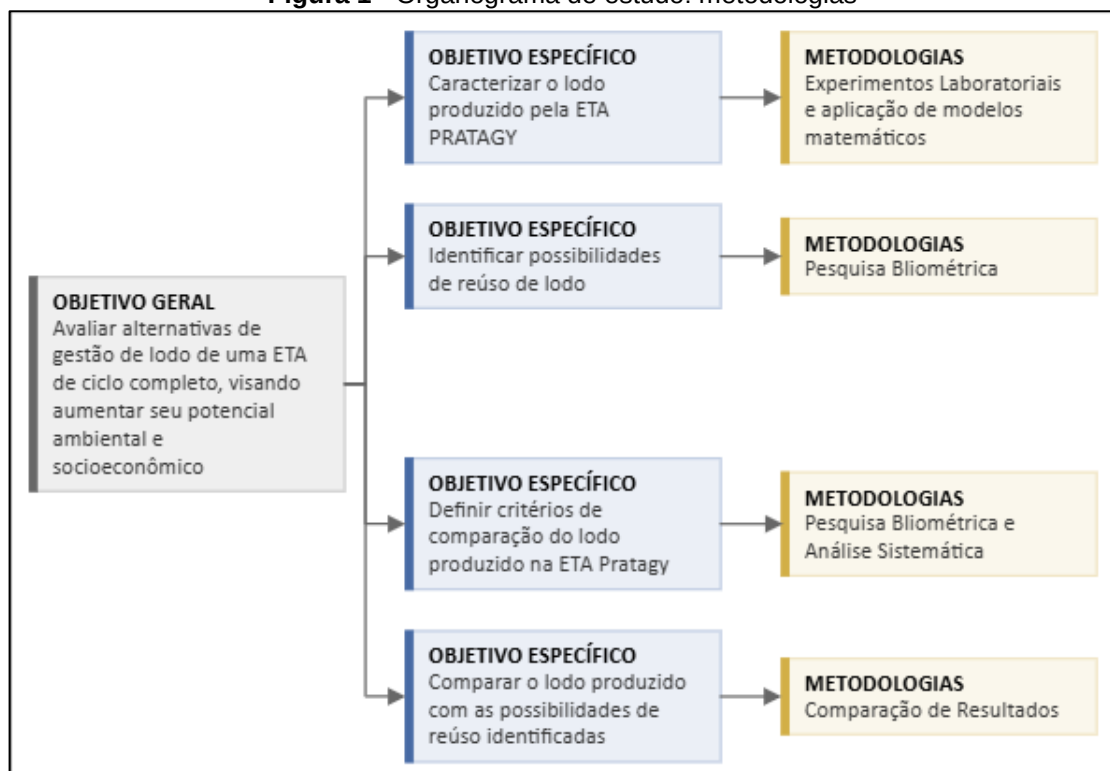
Outro mercado de grande potencial é o da construção civil, com destaque para a pavimentação. As características mineralógicas do LETA e sua classificação como não perigoso, quanto a seu potencial de lixiviação e solubilização de poluentes, pode ser citado como pontos positivos na reutilização desse resíduo (Lucena *et al.*, 2016).

Por meio do exposto, os produtores de água aumentam seu potencial ambiental e socioeconômico, evitando a contaminação das águas e do solo, criando economias circulares para os resíduos gerados e protegendo sistemas de abastecimento de cidades e povoados a jusante dos despejos irregulares.

4 MÉTODOS

A partir do organograma apresentado na **Figura 1**, evidencia-se a metodologia proposta para o presente estudo. Inicialmente, utilizam-se experimentos laboratoriais e modelos matemáticos para caracterizar o lodo da ETA Pratagy. Posteriormente, para identificar as possibilidades de reuso, realiza-se uma pesquisa bibliométrica. Com isso estabelecido, para definir os critérios de comparação, utiliza-se pesquisa bibliométrica seguida por uma análise sistemática. Por fim, compara-se as características encontradas do lodo analisado com os critérios estabelecidos previamente de forma a avaliar sua viabilidade.

Figura 1 - Organograma de estudo: metodologias

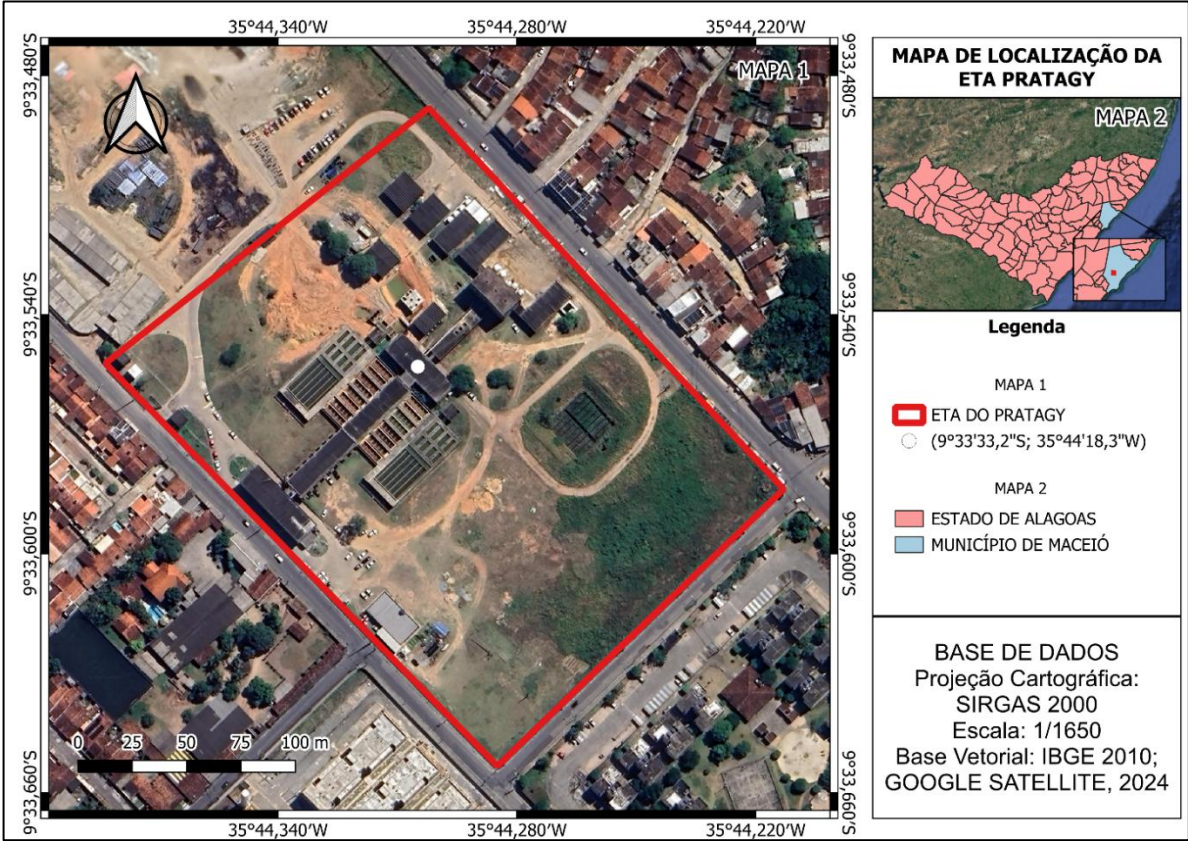


Fonte: Autor, 2025.

4.1 Local de Estudo

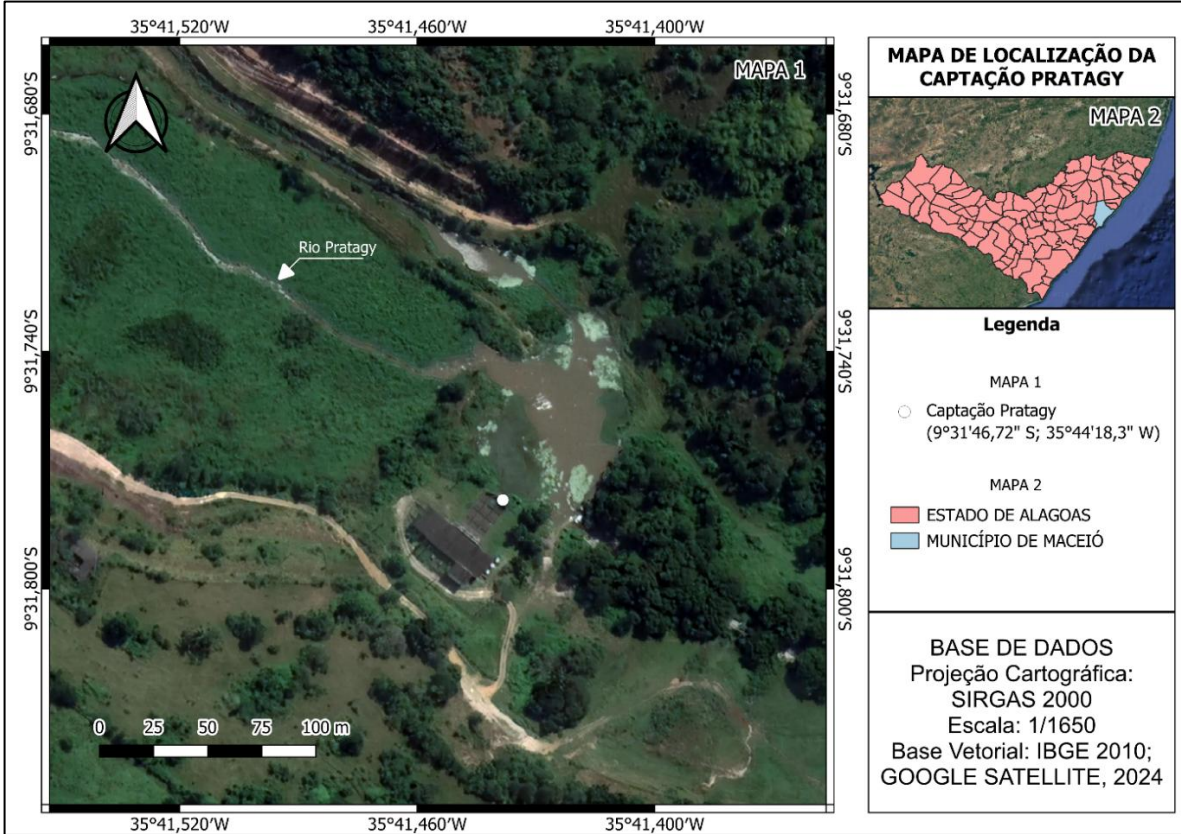
A ETA Pratagy, operada pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) e situada no bairro do Benedito Bentes - AL, possui o maior alcance de abastecimento no município. A localização da ETA Pratagy e da Captação do rio Pratagy podem ser visualizadas nas **Figuras 2 e 3**, respectivamente.

Figura 2 - Mapa de localização da ETA Pratagy



Fonte: Autor, 2025.

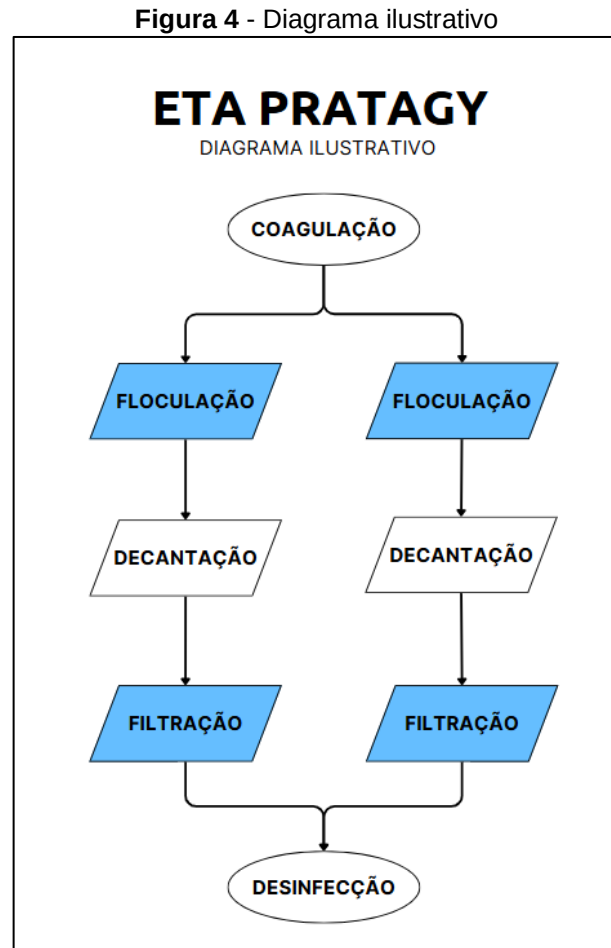
Figura 3 - Mapa de captação do rio Pratagy



Fonte: Autor, 2025.

Quanto à caracterização da água de captação, foram utilizados dados secundários de turbidez fornecidos pela CASAL, para período seco.

A **Figura 4** apresenta o diagrama ilustrativo dos processos de tratamento da ETA Pratygy.



Fonte: Autor, 2025.

A seguir, caracteriza-se os processos de tratamento presentes na ETA Pratygy, têm-se:

- Coagulação – Mistura rápida mecanizada por agitador (desativado). Presença de medição de vazão em linha, com medidor eletromagnético. Adição de barrilha e cloro (pré-cloração); Fluxo de saída é dividido para os dois floculadores;
- Floculação – Mistura lenta mecanizada por agitador de paleta (desativado);
- Decantação – Decantador de alta taxa com fluxo ascendente e descarga hidráulica;
- Filtração – Filtros descendentes, com dupla camada (areia e antracito);
- Desinfecção – Utilização de Cloro, obtido por eletrólise de cloreto de sódio;

- Acondicionamento e disposição final de resíduos – Os resíduos acondicionados em tanques sedimentadores de chicanas. Porém, não funcionam de maneira satisfatória. Posteriormente, são dispostos na rede pluvial e disposto na Bacia Hidrográfica de Jacarecica.

O sulfato de alumínio é o coagulante utilizado no processo de tratamento, aplicado por meio de bomba dosadora.

A **Tabela 1** apresenta outras informações gerais acerca da ETA do Pratagy.

Tabela 1 - Informações gerais da ETA Pratagy

Tempo diário de operação:	24h	Fonte:
Tecnologia tratamento:	Ciclo completo	CASAL, 2025
Vazão nominal total:	1080 L/s	
Vazão operacional:	916,67 L/s	
Produtos químicos utilizados	Sulfato de Alumínio, barrilha e cloro	
Descarga de lodo:	Hidráulica, 3 vezes por dia	
Carreira de filtração:	12h	

Fonte: Autor, 2025.

4.2 Pesquisa Bibliométrica

4.2.1 Levantamento de possibilidades de reúso de lodo

A escolha de quais aplicações de reúso do LETA serão analisadas foi feita mediante pesquisa bibliométrica utilizando a base de dados do agregador científico *Web of Science*, por meio do portal Periódicos da CAPES. A pesquisa foi feita no mês de dezembro de 2024, com “todos os campos” e contou, inicialmente, com o termo chave: “WTP SLUDGE” (LODO DE ETA), a fim de averiguar as palavras-chave mais associadas ao assunto de maneira geral. Essa pesquisa foi feita sem filtros e abrangeu o período 2001 - 2024. Vale ressaltar que o balizador de “Relevância”, disponibilizado pelo Web of Science, foi utilizado para ordenar os resultados obtidos. Com isso, objetivando a compilação visual dos resultados adquiridos, foi utilizado o software VOSviewer (ver. 1.6.20), o qual permite a criação de redes de interação dos parâmetros de interesse.

4.2.2 Levantamento de critérios de comparação de lodo

Para o levantamento de dados referentes aos critérios associados a viabilidade das aplicações escolhidas, foi utilizado o método de pesquisa bibliométrica. Esse

método serviu para a análise dos artigos científicos mais difundidos e relevantes aos assuntos em questão. As condições de pesquisa foram idênticas às apresentadas no tópico anterior. Porém, foi utilizada a pesquisa avançada do Web of Science, de modo a acrescentar os termos chaves específicos das possibilidades de reúso levantadas, a exemplo de: “Red Ceramic” (Cerâmica vermelha); “Paving” (pavimentação) e “Agriculture ” (Agricultura). Além disso, foram utilizados filtros a fim de restringir os resultados a somente artigos científicos.

4.3 Amostragem do lodo

A amostragem de lodo ocorreu no decantador e filtro da ETA Prtagy. A coleta no decantador foi feita na tubulação de descarga. Para o filtro, a amostragem foi feita na canaleta de coleta da água de lavagem. Em ambos os casos, foi coletada uma amostra por minuto, a partir do primeiro minuto. O processo de lavagem tem duração de 5 minutos e o processo de descarga tem duração de 3 minutos. No filtro, também foi coletada uma amostra antes do início da lavagem. Ao total, 11 amostras foram coletadas para análise. Cada amostra compreende uma garrafa plástica de 2 litros, conforme as **Figuras 4 e 5**.

Figura 5 – Amostras: Decantador



Fonte: Autor, 2025.

Figura 6 - Amostras: Filtro

Fonte: Autor, 2025.

4.4 Caracterização de resíduos

4.4.1 Caracterização físico-química

Os experimentos de caracterização das amostras de lodo foram feitos mediante os *Standard Methods for Water and Wastewater* (APHA, 2017). O **Quadro 1** apresenta os experimentos que serão conduzidos.

Quadro 1 - Metodologia de caracterização de resíduos

Parâmetros	Método	Fonte
pH	Eletrométrico	APHA, 2017
DQO (mg/L)	Espectofotométrico	APHA, 2017
Sólidos Totais (mg/L)	Gravimétrico	APHA, 2017
Sólidos Totais Fixo (mg/L)	Gravimétrico	APHA, 2017
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	Gravimétrico	APHA, 2017
Cor	Colorimétrico	APHA, 2017
Turbidez	Nefelométrico	APHA, 2017

Fonte: Autor, 2025.

4.5 Estimativas de produção de resíduo

4.5.1 Produção volumétrica

O cálculo do volume (Vol) de descarte dos resíduos foi feito a partir da multiplicação das vazões (Q) de descarga dos decantadores e de água de lavagem

dos filtros, pelos tempos de descarga (t), 3 minutos, e de lavagem, 5 minutos. A **Equação 1** apresenta o método de cálculo.

$$Vol = Q * t \quad \text{Equação 1}$$

A vazão de cada processo foi levantada a partir das plantas no projeto executivo e de visitas em campo. O método de cálculo para cada unidade está exposto a seguir:

- **Decantadores:** Antes do descarregamento, o lodo gerado pelos decantadores de alta taxa é armazenado no fundo das unidades, por meio de doze compartimentos em tronco de pirâmide. Esses compartimentos são interligados a 3 tubulações (DN250 e comprimento de 25,2 m), as quais são acionadas manualmente por registros a cada descarga de lodo. Portanto, a vazão (Q_d) pode ser calculada pela equação geral de descarga (**Equação 2**):

$$Q_d = Cd * S * \sqrt{2 * g * H} \quad \text{Equação 2}$$

Na qual:

S - área da seção da tubulação;

Cd - coeficiente de Descarga;

H - Lâmina líquida dentro do decantador;

g - Aceleração da gravidade = 9,81 m/s².

- **Filtros:** A água de lavagem dos filtros é proveniente de um reservatório elevado, localizado na cobertura da casa de química. A equação da continuidade foi utilizada para calcular a vazão de lavagem dos filtros (Q_f), por meio da multiplicação da área filtrante pela velocidade ascensional de lavagem (**Equação 3**):

$$Q_f = v * A \quad \text{Equação 3}$$

Na qual:

A = área filtrante;

v = velocidade ascensional.

A **Tabela 2** apresenta os valores adotados para os parâmetros hidráulicos utilizados nas equações apresentadas.

Tabela 2 - Parâmetros hidráulicos: produção volumétrica

Parâmetro	Valor	Fonte
S	0,049 m ²	Menezes (2019)
Cd	0,6	
H	6,4 m	
A	78 m²	
v	0,5 m/min	

Fonte: Autor, 2025.

4.5.2 Produção mássica

Para a produção mássica da ETA, foi utilizada como referência a vazão média de operação atual e o valor médio de turbidez para tempo seco.

Para a estimativa, foram utilizadas três equações empíricas para ETAs de ciclo completo com utilização de sulfato de alumínio, assim como. São elas: Cornwell *et al.* (1987), **Equações 4 e 5**, e AWWA (2006), **Equação 6 e 7**.

- Método Cornwell *et al.* (1987)

$$P_C = (0,44 * AS + 1,5 * T + A) * 10^{-6} \quad \text{Equação 4}$$

$$W = 86400 * P * Q \quad \text{Equação 5}$$

Na qual:

P_C – Produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada);

AS – Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L);

T – Turbidez da água bruta (NTU);

A – Outros aditivos, tal como o polímero (mg/L);

W – Quantidade de sólidos secos (kg/dia);

Q – Vazão média de operação (m³/s).

- Método AWWA (2006)

$$P_A = (3,5 * 10^{-3}) * T * 0,66 \quad \text{Equação 6}$$

$$W = 86400 * P * Q \quad \text{Equação 7}$$

Na qual:

P_A – Produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada);

T – Turbidez da água bruta (NTU).

Devido a não utilização de aditivos na ETA, o valor de outros aditivos (A) será considerado como 0. Quanto aos outros parâmetros: dosagem de coagulante (AS) = 15 mg/L e turbidez da água bruta (T) = 28,7 NTU.

Após essas estimativas, faz-se importante calcular a massa produzida a partir de valores reais. Dessa forma, a **Equação 8** demonstra o cálculo a ser realizado:

$$M_R = ST * V$$

Equação 8

Na qual:

M_R – Massa (kg);

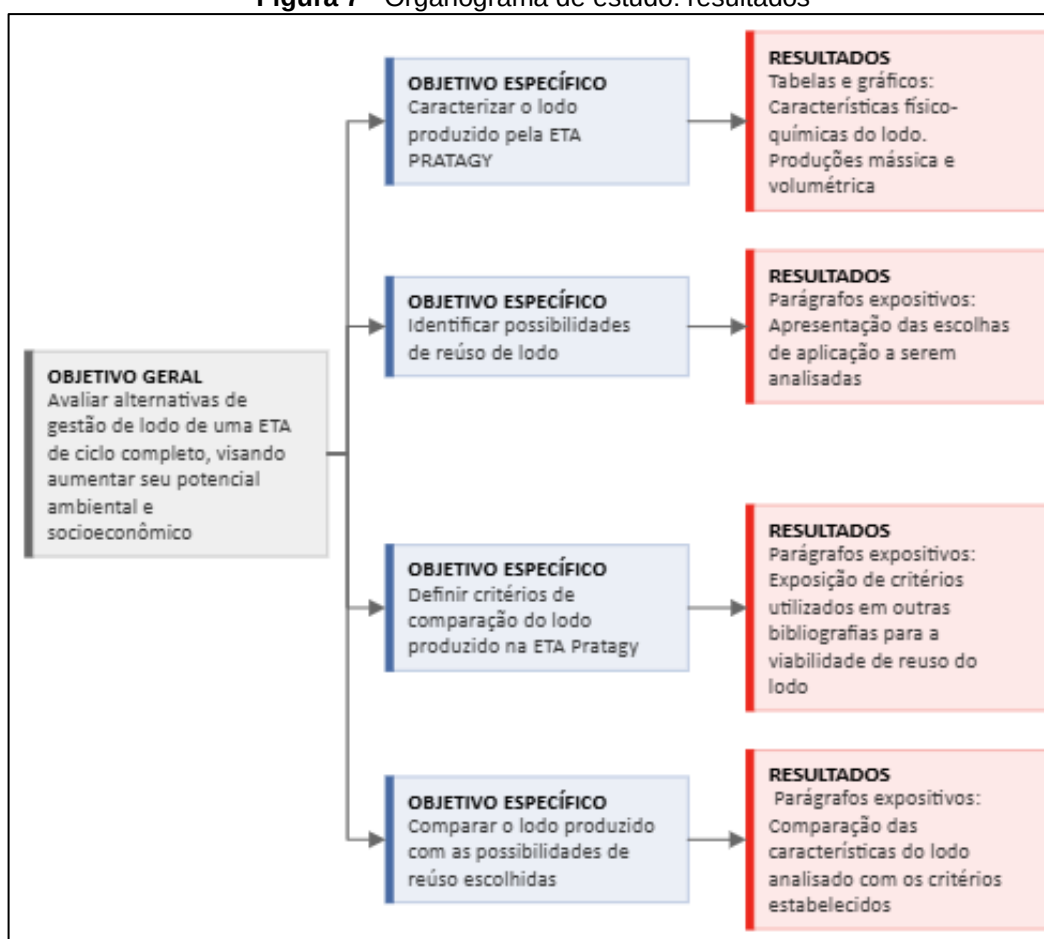
ST – Sólidos Totais (kg/L);

V – Produção volumétrica (L).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A **Figura 6** mostra o organograma de resultados para cada objetivo específico. Para a caracterização do resíduo da ETA Pratagy identificação de possibilidades de reúso e de seus critérios de comparação, estão apresentados por meio de parágrafos expositivos. Ademais, a caracterização do lodo e seus volumes de produção e descarte estão expostos em quadros. Por fim, a comparação do lodo caracterizado com os critérios de reúso levantados está exposta por meio de parágrafos expositivos e quadros.

Figura 7 - Organograma de estudo: resultados



Fonte: Autor, 2025.

5.1 Caracterização do resíduo

5.1.1 Caracterização Físico-Química

A **Tabela 3** apresenta os resultados para os parâmetros: pH, cor, turbidez e DQO. Já a **Tabela 4** traz os resultados para os sólidos totais, fixos e voláteis.

Tabela 3 - Caracterização do resíduo: pH, cor, turbidez e DQO

Fonte da amostra	Amostra	pH	Cor (uC)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTRO	1	6,04	35	4	136
	2	5,94	49	6	112
	3	5,86	78	129	169
	4	5,78	81	40	102
	5	5,86	73	28	140
	6	5,99	49	11	117
DESCARGA DE DECONTADOR	7	5,90	85	62	137
	8	5,79	71	38	108
	9	5,75	56	40	127
	10	5,77	66	27	144
	11	5,73	52	24	165

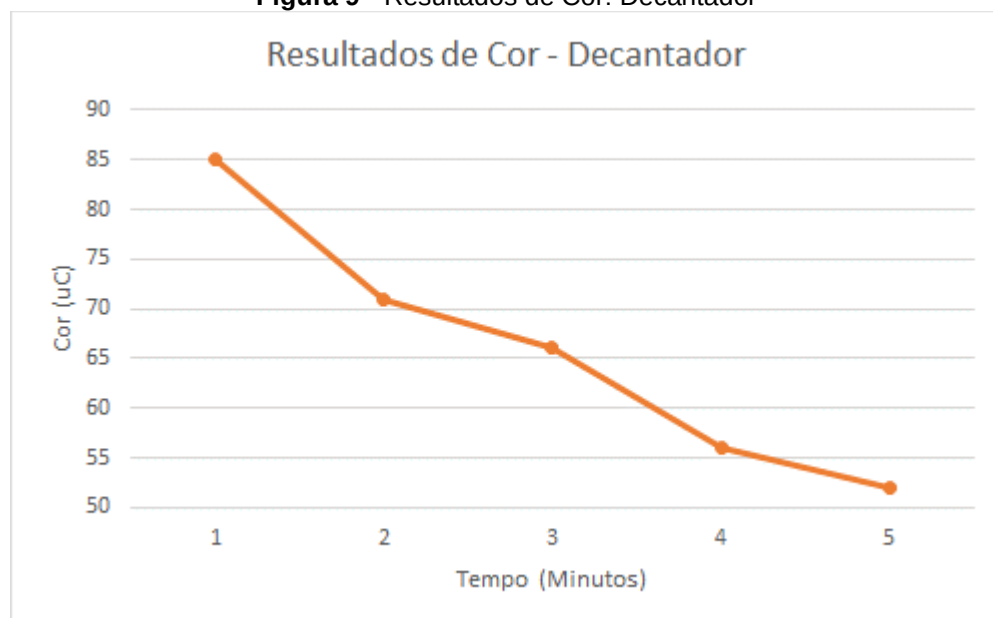
Fonte: Autor, 2025.

Tendo em vista os valores médios calculados a partir do exposto na **Tabela 3**, observa-se valores de pH de 5,9 e 5,8, no filtro e decantador, respectivamente. Esses valores estão condizentes com os valores de 6,1 e 5,9, respectivamente, encontrados por Menezes (2019), na mesma ETA. Além disso, as médias de DQO encontradas (129,3 para filtro e 136,3 para decantador) foram menores que a faixa de 440 mg/L – 725 mg/L encontradas pela autora, também para mesma ETA.

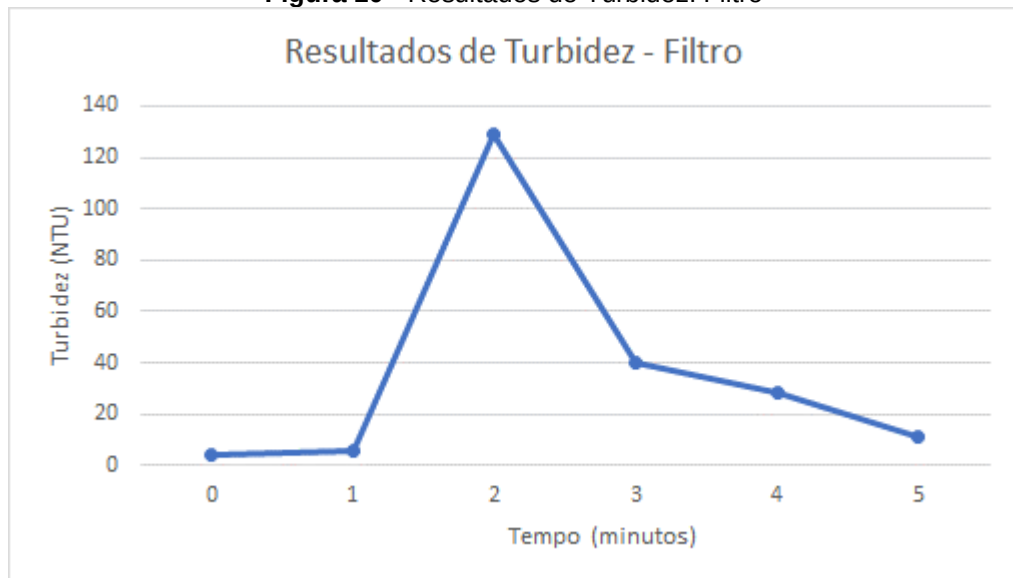
As **Figuras 7 e 8** trazem de forma gráfica os resultados de cor obtidos, assim como as **Figuras 9 e 10** trazem os resultados de turbidez. No filtro, observa-se uma curva inicialmente crescente e, ao passar do tempo, decrescente. Esse comportamento se dá devido à remoção gradual das partículas dissolvidas ou suspensas, atingindo maiores valores no meio dos processos e decrescendo logo após. Já nos decantadores, observa-se um comportamento decrescente, devido à maior carga de sólidos no início da descarga, com sua subsequente diminuição ao passar do tempo.

Figura 8 - Resultados de cor: Filtro

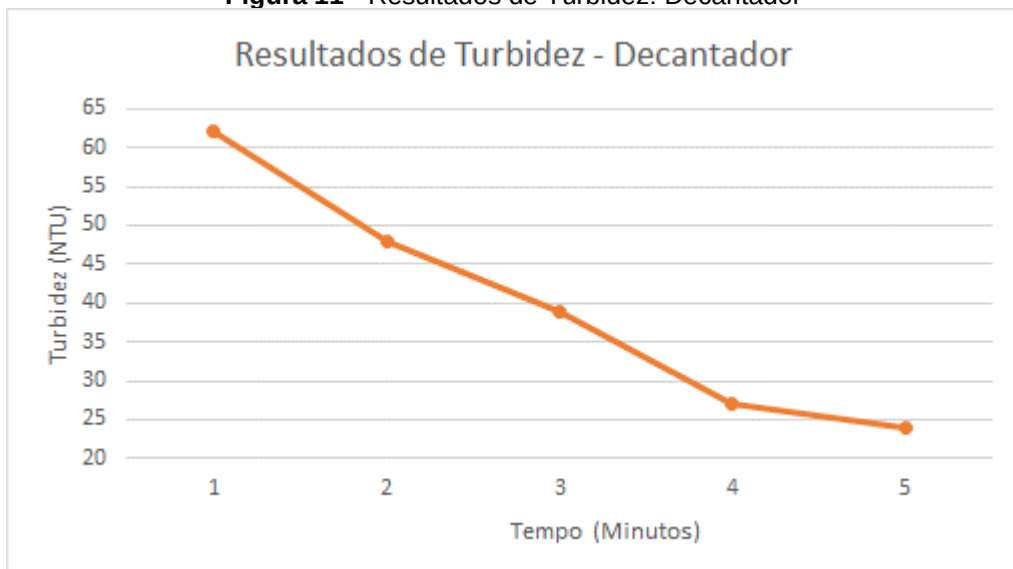
Fonte: Autor, 2025.

Figura 9 - Resultados de Cor: Decantador

Fonte: Autor, 2025.

Figura 10 - Resultados de Turbidez: Filtro

Fonte: Autor, 2025.

Figura 11 - Resultados de Turbidez: Decantador

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 4 - Caracterização do resíduo: Sólidos

Fonte da amostra	Amostra	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Voláteis (mg/L)	Sólidos Fixos (mg/L)
ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTRO	1	392	224	168
	2	180	74	106
	3	392	162	230
	4	208	52	156
	5	282	180	102
	6	260	94	166
DESCARGA DE DECANTADOR	7	380	92	288
	8	354	118	236
	9	388	120	268
	10	148	74	74
	11	206	82	124

Fonte: Autor, 2025.

De acordo com a **Tabela 4**, observa-se que a razão das médias SF/ST é de 0,6. Portanto, há 60% de matéria inorgânica (areia, silte, argila e metais) e 40% de matéria orgânica (material orgânico floculado).

Dentre os parâmetros apresentados, somente o pH (entre 5 e 9) está de acordo do estipulado na Resolução CONAMA 430/2011.

5.1.2 Produção Volumétrica

- Estimativa de vazão de descarga e volume de descarte do **Decantador**:

$$Q = 0,33 \frac{m^3}{s} = 19,8 \frac{m^3}{min}$$

$$V = 178,2 m^3/descarga$$

- Estimativa de vazão de descarga e volume de descarte do **Filtro**:

$$Q = 39 \frac{m^3}{min}$$

$$V = 195 m^3/lavagem$$

Levando em consideração as 3 descargas por dia, nos 2 decantadores, e carreira de filtração de 12h, nos 6 filtros, calcula-se o volume diário produzido:

Produção volumétrica diária	Decantadores	Filtros
	1.069,2 m ³	2.340 m ³

5.1.3 Produção Mássica

- Cálculo da produção mássica por método **Cornwell et al. (1987)**:

$$P = 0,04965 \frac{\text{Kg de massa seca}}{\text{m}^3 \text{ de água bruta tratada}}$$

$$W = 3932,29 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

- Cálculo da produção mássica por método **AWWA (2006)**:

$$P = 0,066 \frac{\text{Kg de massa seca}}{\text{m}^3 \text{ de água tratada}}$$

$$W = 5227,22 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

- Cálculo da produção mássica: Para esse cálculo foram utilizadas as **médias de sólidos totais** para o filtro e decantador, assim como suas respectivas **produções volumétricas diárias**.

$$M_{Dec.} = 315,41 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$M_{Filtro} = 669,24 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

Ao total, a produção mássica encontrada foi de **984,65 kg/dia**. Observa-se uma discrepância entre os valores estimados e reais. Isso se dá devido à menor quantidade de sólidos totais presentes nas amostras coletadas, em contraste com a elevada turbidez da água de captação utilizada.

Comparativamente, para a mesma ETA em período seco, o valor calculado é menor que os 3375,32 kg/dia encontrados por Menezes (2019).

Vale ressaltar que a ETA Pratagy produz um lodo aguado, devido ao tipo de armazenamento de resíduo nos decantadores. Dessa forma, não há maneira de manualmente retirar o lodo de dentro das unidades.

5.2 Pesquisa Bibliométrica

5.2.1 Identificação de possibilidades de reúso do lodo

A pesquisa de levantamento realizada resultou em 201 documentos. A **Figura 5** mostra a rede de interação de co-ocorrência pelas palavras-chave dos documentos obtidos, com número mínimo de ocorrência de palavra-chave sendo 1.

A rede de interação exposta apresenta diversos tópicos relacionados aos resíduos produzidos por ETAs. Dentre eles, nota-se diversos tópicos que referenciam o tratamento de águas residuárias e o lodo de ETEs, como: “lodo de esgoto”, “digestão anaeróbia”, “lodos ativados” e “Upflow Anaerobic Sludge Blanket”. Embora não esteja visível na figura mencionada, há também algumas referências à indústria do concreto como opção de reúso, como: “concreto”, “pavimentação” e “argamassa de cimento”. Junto a isso, observa-se a presença de tópicos sobre a indústria da cerâmica (“tijolos de cerâmica”, “sinterização cerâmica”, “argilas” e “mistura de argila e lodo”) e sobre a aplicação agrícola (“uso agrícola”, “substâncias húmicas e “biossólidos”). Além disso, ressalta-se a ocorrência do tópico de aplicação agrícola relacionado ao tópico de tratamento de águas residuárias (“sewage sludge”), mencionado anteriormente. Enquanto o tópico de aplicação na cerâmica vermelha está atrelado ao lodo de estações de tratamento de água (“wtp sludge”).

Tendo em vista os termos apresentados na **Figura 7**, “uso agrícola” e “tijolos de cerâmica” possuem maior ocorrência nos trabalhos pesquisados, devido a possuírem quadros de tamanhos maiores. Portanto, dentre os dois termos citados, adotou-se a aplicação na **cerâmica vermelha** como a possibilidade de reúso a ser analisada, devido à maior quantidade de documentos referentes a essa possibilidade.

Quadro 2 - Artigos revisados: Cerâmica vermelha

ARTIGOS REVISADOS		
TÍTULO DO ARTIGO	ANO DE PUBLICAÇÃO	STATUS DE REVISÃO
Structural Ceramics Modified by Water Treatment Plant Sludge	2020	Revisado
Recycling of waste glass extracted from a WTP into ceramic materials	2022	Revisado e descartado
Caracterização do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Palmeira dos Índios – Alagoas para potencial aplicação em massas cerâmicas	2023	Revisado
A system dynamics approach for large-scale water treatment plant sludge management: A case study in Brazil	2023	Revisado
Effect of alkali roasting and sulfatization on the extraction of different metal oxides from waste alum sludge	2021	Revisado e descartado
Water footprint of drinking water: The consumptive and degradative use	2022	Revisado e descartado
Technological characterization and environment friendly possibilities to reuse water treatment sludge in building materials	2024	Revisado

Fonte: Autor, 2025.

Os artigos não descartados serão analisados, com objetivo de expor os critérios utilizados pelos autores para o julgamento da viabilidade de reúso do lodo na cerâmica.

5.2.3 Levantamento de critérios de comparação por meio de análise de artigos

A cerâmica compreende os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente por tratamento térmico, em altas temperaturas. Já a cerâmica vermelha diz respeito aos materiais de cor avermelhada empregados na construção civil, como tijolos, blocos e telhas. A indústria da cerâmica é de vital importância nacional, contando com a produção de mais de 63 bilhões de peças por ano, com utilização 140 Mt de argila (ANICER, 2020).

O artigo “*Structural Ceramics Modified by Water Treatment Plant Sludge*” apresenta o potencial do LETA como aditivo de queima no processo de fabricação de produtos cerâmicos. Esses aditivos aumentam a porosidade e a resistência termal da argila, facilitando o processo de sinterização. Além disso, as elevadas temperaturas ao qual os resíduos são expostos resultam na imobilização de componentes tóxicos, os quais perdem sua propensão a lixiviação.

Sendo assim, Orlov *et al.* (2020) investigaram os métodos ideais de tratamento preliminar, assim como a quantidade ideal de aditivo na argila e seu efeito nas propriedades dos produtos cerâmicos fabricados, em escala industrial, com o lodo da ETA de ciclo completo de Chelyabinsk (Federação Russa). As características do lodo utilizado mencionadas constituem a presença de alumínio e ser proveniente de água bruta com índice de cor para turbidez baixo ($WCI/WT = 3,3$).

Com isso, os autores acharam o método de congelamento-descongelamento (freezing-thawing) como ideal para o tratamento preliminar, devido à maior diminuição de umidade (redução de 29,5%) e diminuição da resistência à filtração. Quanto ao efeito do LETA como aditivo, os autores utilizaram o método *Hartley* e testaram adições de 5 a 10%, em incrementos de 2,5%, a 950°C. O aumento de quantidade de aditivo resultou no aumento do número de plasticidade (15,5% para 16,9%) e do encolhimento ao fogo (1,6% para 1,9%), o qual representa maior grau de sinterização e, conseqüentemente, confere maior força aos produtos cerâmicos.

O lodo adicionado também causou o aumento da sensibilidade a secagem (>180s), o que diminui o tempo de secagem, e do aumento da resistência à compressão (7 para 8,5 MPa). Além disso, devido a queima dos compostos orgânicos do lodo, houve aumento da porosidade e, conseqüente diminuição da densidade do produto cerâmico (1,53 para 1,42 g/cm³). Entretanto, os autores mencionam que o produto possui paredes de poros mais densas, devido a presença de composto fundentes (FeO, K₂O, MnO).

Oliveira *et al.* (2023) realizaram uma pesquisa de caráter experimental, com natureza tecnológica e abordagem quali-quantitativa (executada, predominantemente, *in vitro*), a respeito da viabilidade de aplicação do subproduto da ETA da cidade de Palmeira dos Índios (Alagoas) em massas cerâmicas. A ETA de estudo possui vazão de operação de 540 m³/h e possui os processos convencionais de tratamento, além do tratamento de lodo por adensamento, seguido de leitos de secagem. O coagulante utilizado é o Policloreto de Alumínio (PAC) e a produção diária de lodo é em torno de 223,3 kg. O **Quadro 3** apresenta os resultados obtidos pelos autores:

Quadro 3 - Resultados da caracterização de lodo

Ensaio	Resultado
Análise Granulométrica (AG)	76,61% de areia fina; 13,36% areia média; 0,42% areia grossa e 9,61% de partículas menores que 0,075mm, siltes e argilas
Limite de Liquidez (LL)	ND (Não Determinado)
Limite de Plasticidade (LP)	Não Plástico
Fluorescência de Raios X (FRX)	Elementos químicos de destaque – Si (55,65%), Al (12,03%), Ca (7,81%), Mg (2,51%), K (2,33%) e Na (1,2%)
Difração de Raios X (DRX)	Picos característicos das fases caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e quartzo (SiO_2)
Análise Térmica (AT) – Termogravimétrica (TGA)	Perda de cerca de 42% de massa a 400°C. Estabilização a partir dessa temperatura

Fonte: Oliveira *et al.*, 2023.

Devido a não determinação dos limites de liquidez e plasticidade, o lodo foi classificado como não plástico. Os autores mencionam que a adição desse subproduto às argilas altamente plásticas resulta na melhoria da organização de partículas, causando a redução do tempo de secagem.

Quanto aos elementos químicos encontrados, não houve presença de metais pesados e o alumínio verificado se dá devido ao coagulante utilizado (PAC). Além disso, elementos como Ca, Mg, K e Na possuem propriedades fundentes e podem reduzir a temperatura de sinterização. Quanto ao ensaio de DRX, a caulinita presente, predominantemente, na forma de silício e alumínio (67,68%) e o quartzo na forma de silício, corroboram com a análise química realizada.

É mencionada também a relevância do silício na conformação e trabalhabilidade de massas cerâmicas. Portanto, os autores concluem que o lodo analisado corrobora com a aplicação em massas cerâmicas, devido a presença de compostos fundentes. Sendo assim, constatou-se que o lodo como substituto ou aditivo na argila é uma possibilidade de aplicação viável.

Já o estudo “Technological characterization and environment-friendly possibilities to reuse water treatment sludge in building materials”, pelos autores Reis *et al.* (2024), expõe uma lacuna nos estudos de caracterização do LETA, relacionado às características mineralógicas, geomorfológicas e microestruturais, assim como análises de toxicidade e potencial de lixiviação. Sendo assim, objetiva-se realizar essas caracterizações e avaliar a aplicabilidade do lodo em materiais de construção.

A ETA de estudo é do município de Erechim, Rio Grande do Sul. O coagulante utilizado é o sulfato de alumínio e a amostragem do lodo foi feita em período de seca. Os autores também mencionam que, junto com outra ETA na cidade, são produzidos 100 m³ de lodo mensalmente e estocados em leitos de secagem para redução de volume e disposição em aterro sanitário. As amostras coletadas foram secadas a 105°C, por 24h. O **Quadro 4** apresenta os resultados encontrados.

Quadro 4 - Resultados da caracterização de lodo

Ensaio	Resultado
Análise Granulométrica (AG)	Material argilo-siltoso, ligeiramente arenoso
Fluorescência de Raios X (FRX)	Elementos químicos de destaque (Amostra A) – SiO ₂ (24,70%), Al ₂ O ₃ (21,30%), Fe ₂ O ₃ (20,70%), K ₂ O (0,19%), Na ₂ O (0,03%) e LOI (28,80%)
Difração de Raios X (DRX)	Picos de sílica cristalina, na forma de cristobalita e quartzo. Além de hematita e caulinita
Microscopia eletrônica de varredura (MEV):	Geometria de partículas similar, com grande variedade de tamanhos. Composição majoritário de alumínio e sílica
Classificação ambiental	Propriedades não-inertes: possível biodegradabilidade, flamabilidade e solubilidade em água

Fonte: Reis *et al.*, 2024.

Os autores concluem que a grande variedade de tamanhos de partículas, compostas majoritariamente de sílica, alumínio e óxidos de ferro, além da composição mineralógica de caulinita, quartzo e minerais de ferro, são ótimas características para a aplicação na cerâmica vermelha. Porém, eles advertem à possibilidade de solubilização de contaminantes provenientes dos resíduos utilizados, os quais podem possuir biodegradabilidade, flamabilidade e solubilidade em água.

Por fim, no artigo “A system dynamics approach for large-scale water treatment plant sludge management: A case study in Brazil”, Urban *et al.* (2023) propõem uma análise de custo para possíveis destinações do LETA de duas ETAs na região de Campinas (São Paulo), com coagulantes variados. Com isso, 4 cenários de análise são criados: Cenário 1 - indústria da cerâmica vermelha (PAC); Cenário 2 - indústria da cerâmica vermelha (cloreto férrico); Cenário 3 - solo de pasto (cloreto férrico) e Cenário 4 - aterro sanitário (PAC).

Os autores mencionam que o lodo proveniente de coagulantes de alumínio é menos desejado como matéria prima pela indústria da cerâmica vermelha, devido à ausência da coloração avermelhada proporcionada pela presença do ferro. Porém, os

autores chegam à conclusão de que o cenário 1 é o mais econômico para a utilização do LETA, tendo em vista custos de tratamento de água, estocagem, transporte e gerenciamento de resíduos.

Portanto, tendo como base os artigos analisados, observa-se que os resíduos provenientes de ETAs de ciclo completo com coagulantes a base de alumínio são propícios à aplicação na indústria da cerâmica, na forma de aditivos. Com isso, os seguintes critérios foram levantados, considerando sua relevância na melhoria dos processos de formação de produtos cerâmicos:

- Presença de compostos fundentes (exemplos: Na, Ca, Mg, K, FeO, K_2O , MnO);
- Presença de compostos orgânicos voláteis;
- Composição mineralógica variada, a exemplo de caulinita, quartzo e minerais de ferro.

5.2.4 Comparação entre lodo da ETA PRATAGY e critérios levantados

Inicialmente, observa-se que o LETA produzido pela ETA Pratagy é oriundo de processo de coagulação com sulfato de alumínio, garantindo a presença desse metal em sua composição. Além disso, a presença de compostos orgânicos proporciona a porosidade necessária para o processo de formação dos produtos cerâmicos.

Em relação aos outros critérios de comparação, não houve possibilidade de realização dos ensaios laboratoriais necessários para suas análises.

6 CONCLUSÃO

O lodo produzido pela ETA Pratagy, apresenta 60% de matéria inorgânica (areia, silte, argila e metais) e 40% de matéria orgânica (material orgânico floculado). Os decantadores possuem resíduo com DQO média de 136,3 mg/L e produzem 178,2 m³ de lodo por descarga, totalizando 1069,2 m³/dia. Já os filtros possuem resíduo com DQO média de 129,3 mg/L e produzem 195 m³ de ALAF por lavagem, totalizando 2340 m³/dia. Ao todo, a ETA Pratagy tem produção mássica estimada de 3932,29 Kg/dia e 1435,29 t/ano.

Além disso, ressalta-se que o lodo produzido pela ETA é aguado, dificultando a realização de ensaios geotécnicos, como análises granulométricas e limites de Atterberg. Os resultados mássicos encontrados estão de acordo com a literatura.

Observou-se, por meio de pesquisa bibliométrica, alternativas como as indústrias agrícola, do concreto e da cerâmica vermelha. Com isso, a indústria da cerâmica vermelha foi selecionada para análise, devido a maior quantidade de material acadêmico direcionado a esse aspecto.

Os parâmetros: presença de compostos fundentes; presença de compostos orgânicos voláteis e composição mineralógica variada, foram escolhidos como critérios de comparação. Esses parâmetros possuem maior relevância quanto a sua influência no processo de fabricação de produtos cerâmicos, principalmente no processo de sinterização.

Quanto a comparação do lodo da ETA Pratagy com a possibilidade de reúso escolhida. O resíduo gerado é oriundo de processo de coagulação com sulfato de alumínio, garantindo a presença desse metal em sua composição. Além disso, a presença de compostos orgânicos proporciona a porosidade benéfica ao processo de sinterização. Em relação aos outros critérios de comparação, como não foram capazes de ser realizados, devido à atual ausência de meios para tal, recomenda-se que trabalhos futuros realizem os experimentos e corroborem com a possibilidade de aplicação do lodo da ETA Pratagy na indústria da cerâmica.

Por fim, este trabalho traz contribuições para o estado da arte relacionado às opções de reúso do lodo proveniente de ETAs de ciclo completo como alternativa viável de gestão, além de apresentar respostas quanto as condições operacionais da ETA Pratagy, como o tipo de lodo produzido e os possíveis caminhos futuros a se tomar visando o aumento do potencial ambiental e socioeconômico da ETA.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público (NBR 12.216), Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. Resíduos sólidos – Classificação (NBR 10.004), Rio de Janeiro.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; & CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 2013, v.18, n.2, abr/jun 2013, p. 115-122.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Maryland, 2017, 23^a ed.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Washington, DC, vol. 22, 2012.

BARAKWAN, R. A.; TRIHADININGRUM, Y.; BAGASTYO, A. Y. Characterization of Alum Sludge from Surabaya Water Treatment Plant. **Journal of Ecological Engineering**, Indonesia, 2019, 20(5), p. 7-13. DOI: 10.12911/22998993/104619

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357, de 13 de março 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.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988. Brasília, DF.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial da União, 8 jan. 2007.

BRASIL. Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento

básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Diário Oficial da União, 16 jul. 2020.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2 set. 1981.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 13 fev. 1998.

BRASIL. Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Diário Oficial da União, 18 jul. 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRASIL. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Parecer Técnico - Ref.: Ofício 1139/2008 (CAO-MA) - Informações técnicas referentes aos danos ambientais decorrentes do lançamento de lodo in natura, pelas Estações de Tratamento de Água, no ambiente. Belo Horizonte: Procuradoria-Geral de Justiça, 2009, p. 32.

BRASIL. SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Painel de indicadores 2023.

CORNWELL, D. A.; BISHOP, M. M.; GOULD, R. G.; VANDERMEYDEN, C. Handbook of Water treatment plant waste management. **American Water Works Association**, Denver, 484 p., 1987.

CORNWELL, D.A.; MUTTER, R.N.; VANDERMEYDEN, C. Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals. Denver: American Water Works Association, 2000.

CRITTEDEN, J.C.; TRUSSEL, R.R.; HAND, D.W.; HOWE, K.J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Coagulation and Flocculation. In: **MWH's Water Treatment: Principles and Design**. 3. ed. John Wiley & Sons, Inc., 2012. p. 541-639.

CRITTEDEN, J.C.; TRUSSEL, R.R.; HAND, D.W.; HOWE, K.J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Granular Filtration. In: **MWH's Water Treatment: Principles and Design**. 3. ed. John Wiley & Sons, Inc., 2012. p. 727-818.

CRITTEDEN, J.C.; TRUSSEL, R.R.; HAND, D.W.; HOWE, K.J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Introduction. In: **MWH's Water Treatment: Principles and Design**. 3. ed. John Wiley & Sons, Inc., 2012. p. 1-16.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D.B., & VOLTAN, P.E.N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2011.

HIDAYATI D.; SULAIMAN N.; OTHMAN S.; ISMAIL B.S. Fish scale deformation analysis using scanning electron microscope: New potential biomarker in aquatic environmental monitoring of aluminum and iron contamination. **AIP Conference Proceedings**, 2013, p. 563–568. DOI: 10.1063/1.4858714

KARANIS, P. *et al.* Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. **Journal of Water and Health**, 2007.

KOTLOFF, K.L. *et al.* Burden and aetiology of diarrhoeal disease in infants and young children in developing countries (the Global Enteric Multicenter Study, GEMS): a prospective, case-control study. **The Lancet**, maio, 2013.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 4. ed. São Paulo: Átomo, 2016.

LUCENA, L.C. *et al.* CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF SLUDGE FROM STP AND WTP IN PAVING. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v.36, n.1, p.166-178, jan./fev. 2016

MACEIÓ. Plano Diretor de Saneamento Básico – Sistema de Abastecimento de Água. ARCADIS, 2022.

MENEZES M. **INVESTIGAÇÃO DE PROCESSOS OPERACIONAIS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO**. 2019. 127f. Dissertação (De Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

MIRANDA, L.A. *et al.* **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento**: Guia do profissional em treinamento. Porto Alegre: ReCESA, 2007. 148p.

MORITA, D.M.; SAMPAIO, A.O.; MIKI, M.K.; DAVID, A.C. Incorporação de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Blocos Cerâmicos. **SANEAS**, São Paulo, 2002, v. 14, p. 7-12.

MURALIKRISHNA, I.V.; Manickam, V. Chapter Eleven: Principles and Design of Water Treatment. **Environmental Management: Science and Engineering for Industry**. p. 209-408, 2017.

OLIVEIRA, S.F.M.; TENÓRIO, T.M.; MARQUES, S.K.J. Caracterização do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Palmeira dos Índios - Alagoas para potencial aplicação em massas cerâmicas. **Revista Matéria.**, v.28, n.4, 2023.

ORLOV, A.; BELKANNOVA, M.; VATIN, N. Structural Ceramics Modified by Water Treatment Plant Sludge. **Materials**, 2020, 13, 5293; doi:10.3390/ma13225293.

PELLEGRINO, C.; FALESCHINI, F. Recycled Aggregates for Concrete Production: State-of-the-Art. In: Sustainability Improvements in the Concrete Industry. **Green Energy and Technology**. Springer Verlag, 2016; pp 5–34. DOI: 10.1007/978-3-319-28540-5_2.

REIS, J.B. *et al.* Technological characterization and environment friendly possibilities to reuse water treatment sludge in building materials. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH, PART A**, 2024, VOL. 59, N. 5, p. 241–250.

RODGHER, S.; FIORE, F.A.; BARDINI, V.S.S.; FORMIGA, J.K.S.; KOGA-ITO, C.Y.; KLINSKY, L.M.G. Acute Toxicity of Leachates from Water Treatment Plants Sludge and Combinations with Soils from a Tropical Region. **Springer Nature Switzerland AG**, 2023.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, S.J. The Management of Potable Water Treatment Sludge: Present Situation in the UK. In: Management of Wastes from Drinking Water Treatment. Proceedings. London: The Chartered Institution of Water and Environmental Management, p. 29-36.

SOARES, L. A.; SCALIZE, P. S.; ALBUQUERQUE, A. J. Caracterização de resíduo de ETA visando sua disposição na saída de Lagoas de Estabilização. Roraima: **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 14, n. 2, março, 2014. p. 3154 – 3163.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. 1. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643p.

URBAN R.C.; NAKADA, L.Y.; ISAAC, R.L. A system dynamics approach for large-scale water treatment plant sludge management: A case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 2023, nº 419.

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. **Basic Information about Your Drinking Water**. Novembro. 2024.

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. **Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report**: Summary of Residuals

Generation, Treatment, and Disposal at Large Community Water Systems. Setembro. 2011.