

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL

VIVIANE FEIJÓ MACHADO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA À ARGILA NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS CONVENCIONAIS**

Farroupilha

2025

VIVIANE FEIJÓ MACHADO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA À ARGILA NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS CONVENCIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia e Engenharia de Materiais para a obtenção do
grau de Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de
Materiais.

Área de Concentração: Tecnologia e Engenharia de Materiais

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento de Materiais de
Engenharia

Orientadora: Daniela Lupinacci Villanova

FARROUPILHA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Machado, Viviane Feijó

Análise da viabilidade técnica da incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água à argila na fabricação de tijolos convencionais / Viviane Feijó Machado. – 2025

85 f.

Orientadora: Daniela Lupinacci Villanova.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Farroupilha, Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais – PPGTEM, Farroupilha, BR-RS, 2025.

1. Lodo de Estação de Tratamento de Água. 2. Lodo de Tratamento de Água. 3. Agregado de Lodo e Argila. 4. Tijolos Convencionais. I. Villanova, Daniela L.
II. Título.

VIVIANE FEIJÓ MACHADO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA À ARGILA NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS CONVENCIONAIS**

Trabalho Final apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Maria Coulon Grisa – Universidade de Caxias do Sul – UCS

Profa. Dra. Melissa Dietrich da Rosa – IFRS/Campus Farroupilha

Prof. Dr. Edson Luiz Francisquetti – IFRS/PPGTEM/Campus Farroupilha

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Lupinacci Villanova – IFRS/PPGTEM/Campus
Farroupilha

Apresentado e aprovado em: 07 de outubro de 2025.

Local da defesa: Farroupilha

DEDICATÓRIA

À professora Daniela Lupinacci Villanova por sua atenção ao trabalho desenvolvido e por sua paciência comigo ao longo de todos os anos de estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos colegas e professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, que me acompanharam na caminhada até a conclusão do mestrado.

Agradeço aos colegas do Serviço Municipal de Água e Esgotos, destacando aqui a colega Caroline Theves Carabajal e o colega Diogo Muller de Oliveira pelo auxílio nas análises de laboratório realizadas nessa Autarquia.

Agradeço, em especial, à minha orientadora que teve muita paciência e perseverança comigo para a conclusão desse trabalho.

Agradeço aos meus familiares que entenderam as ausências, salientando o meu companheiro, Gilson Policarpi, que sempre foi parceiro para todas as necessidades nessa jornada.

Todas as vitórias ocultam uma abdicação.
(Simone de Beauvoir)

RESUMO

O processo de tratamento de água convencional utiliza etapas básicas para transformar a água bruta em água potável. Na etapa de decantação é gerado grande volume de lodo com alta variabilidade e contendo diversas partículas que causam cor e turbidez à água. A destinação adequada do lodo produzido é essencial, pois tanto quanto se busca a universalização da distribuição de água potável, tanto maior será o volume do rejeito. O reaproveitamento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em outra atividade ou processo produtivo é fundamental devido ao destino muitas vezes dado a esse resíduo, geralmente disponibilizado *in natura* nos cursos d'água, causando grande impacto negativo. A indústria cerâmica apresenta-se como uma forma de tornar o material incapaz de reagir com outros materiais presentes no lodo, através da incorporação deste nas peças conformadas. O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de lodo de ETA na argila para fabricação de tijolos convencionais e verificar o comportamento das amostras nas diferentes proporções, temperaturas e pressões de confecção. O trabalho foi desenvolvido com o lodo de uma ETA de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, e com a argila de uma olaria de Portão, município limítrofe. Foram confeccionados 60 corpos de prova com as proporções de argila/lodo: 100/0; 97,5/2,5; 95/5; 90/10; 80/20. Utilizou-se a pressão de compactação de 25 MPa para metade deles e de 50 MPa para a outra metade na conformação dos tijolos. Cada 10 corpos de prova da mesma quantidade de incorporação de lodo e igual pressão utilizada foram queimados a 900, 1000 e 1100 °C. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos e apontam que até a incorporação de fração de 10% de lodo na massa cerâmica é possível a utilização dos tijolos convencionais confeccionados para uso interno ou sem exposição à umidade ou chuva. Ao final, junto às conclusões, ainda são apresentadas algumas recomendações para a sustentabilidade econômica, ambiental e social do processo produtivo de tratamento de água.

Palavras-chave: Lodo de ETA. Lodo de tratamento de água. Agregado de lodo e argila. Tijolos convencionais.

ABSTRACT

The conventional water treatment processes use basic steps to transform raw water into potable water. The sedimentation stage generates a large volume of sludge with high variability and containing various particles that cause color and turbidity in the water. Proper disposal of the sludge produced is essential, because the greater the pursuit of universal access to potable water, the greater the volume of waste. Reusing sludge from Water Treatment Plants (WTPs) in another activity or production process is fundamental due to the often untreated disposal of this residue in waterways, causing a significant negative impact. The ceramic industry presents itself as a way to render the material incapable of reacting with other materials present in the sludge, through its incorporation into the shaped pieces. The objective of this work is to evaluate the incorporation of wastewater treatment plant sludge into clay for the manufacture of conventional bricks and to verify the behavior of the samples at different proportions, temperatures, and pressures during production. The work was developed with sludge from a wastewater treatment plant in São Leopoldo, Rio Grande do Sul, and with clay from a brickyard in Portão, a neighboring municipality. Sixty test specimens were made with the following clay/sludge proportions: 100/0; 97.5/2.5; 95/5; 90/10; 80/20. A compaction pressure of 25 MPa was used for half of them and 50 MPa for the other half in the shaping of the bricks. Each group of 10 test specimens, with the same amount of sludge incorporation and pressure used, were burned at 900, 1000, and 1100 °C. The results are presented in tables and graphs and indicate that even with the incorporation of a 10% sludge fraction into the ceramic mass, it is possible to use conventional bricks manufactured for internal use or without exposure to moisture or rain. Finally, along with the conclusions, some recommendations are presented for the economic, environmental, and social sustainability of the water treatment production process.

Keywords: Water treatment plant sludge. Water treatment sludge. Sludge and clay aggregate. Conventional bricks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Volume de água potável produzido e consumido no Brasil por ano	2
Figura 2 – Fluxograma do processo convencional de tratamento de água	2
Figura 3 – Desenho esquemático de adufa com mecanismo de abertura.....	18
Figura 4 – Matriz utilizada para conformação dos tijolos	21
Figura 5 – Comparativo dos corpos cerâmicos após queima	22
Figura 6 – Dispositivo para ensaio de resistência mecânica por flexão a 4 pontos.	24
Figura 7 – Resultados médios de retração linear de queima das amostras.	29
Figura 8 – Resultados médios de perda de massa na queima das amostras	30
Figura 9 – Resultados médios de absorção de água das amostras	31
Figura 10 – Resultados médios de resistência mecânica das amostras	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do lodo da ETA Imperatriz Leopoldina de São Leopoldo.....	5
Tabela 2 – Resultados da composição das amostras do lodo em diferentes períodos	5
Tabela 3 – Composição química por fluorescência de raio-X da argila vermelha	6
Tabela 4 – Referências bibliográficas de destaque no uso do lodo de ETA	16
Tabela 5 – Códigos das amostras utilizados para ensaios e testes	20
Tabela 6 – Resultado de alguns parâmetros presentes no lodo.....	26
Tabela 7 – Resultado dos elementos maiores presentes na argila	27
Tabela 8 – Distribuição granulométrica do lodo	28
Tabela 9 – Distribuição granulométrica da argila	28
Tabela 10 – Resultado dos elementos analisados após solubilização	33

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

ETA – Estação de Tratamento de Água.

GM/MS – Gabinete do Ministro/Ministro da Saúde.

IFRS – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul.

ISSN – Internacional Standard Serial Number.

JCR – Journal Citations Reports.

MPTEM – Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais.

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

SESRS – Secretaria Estadual de Saúde do Rio Grande do Sul.

UERGS – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul-americano.

WTP – Water Treatment Plant.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	4
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 Objetivo geral	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 ABRANGÊNCIA E LIMITES DO TRABALHO	7
2 REVISÃO DA LITERATURA	9
2.1 APLICAÇÃO DO LODO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	10
2.2 APLICAÇÃO DO LODO NA PRODUÇÃO DE CERÂMICA	11
2.3 APLICAÇÃO DO LODO PARA ATERRO DE VALAS	14
2.4 APLICAÇÃO DO LODO EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	14
2.5 APLICAÇÃO DE LODO COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	14
2.6 APLICAÇÃO DO LODO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	15
2.7 OUTRAS APLICAÇÕES.....	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 MATERIAIS	17
3.2 MÉTODOS	17
3.2.1 Caracterização das Matérias-primas	18
3.2.2 Definição das Formulações	19
3.2.3 Conformação.....	20
3.2.4 Secagem e queima	22
3.2.5 Caracterização	23
3.2.6 Compatibilidade ambiental	25

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS	26
4.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÕES	38
5.1 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	39
5.2 POSSIBILIDADES DE TRABALHOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS.....	42
ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ETA UTILIZADO.	49
ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DO LODO ANTERIOR.....	53
ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA UTILIZADA.....	57
ANEXO D – RESULTADO DAS ANÁLISES REALIZADAS NA SOLUÇÃO RESULTANTE DA SOLUBILIZAÇÃO.	59
ANEXO E – ARTIGO PUBLICADO: LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: DESTINAÇÃO E RECICLAGEM.	66
ANEXO F – ARTIGO A SER PUBLICADO: LODO DE ETA COMO INSUMO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CONVENCIONAIS.	68
ANEXO G – ACEITE PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA AFLUENTE.	70

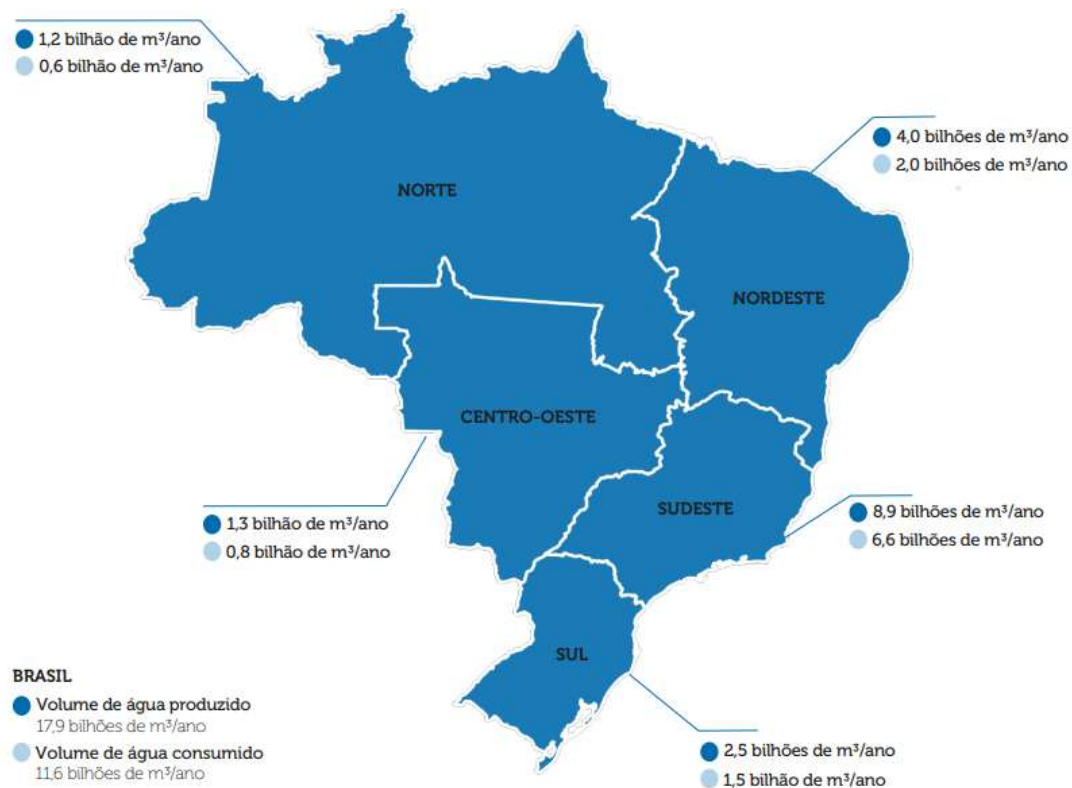
1 INTRODUÇÃO

No Brasil, são produzidos 17,9 bilhões de m³ por ano de água potável (BRASIL, 2023). Na Figura 1 é possível observar a produção e o consumo por região do país. O Sudeste, seguido pelo Nordeste, são as regiões de maior produção. O processo convencional de tratamento da água, amplamente utilizado, passa por etapas básicas para transformar a água bruta em água potável, sendo elas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. São adicionados produtos químicos, como os agentes coagulantes, adsorventes de substâncias orgânicas, alcalinizantes, oxidantes e compostos de flúor (DI BERNARDO *et al.*, 2017), sendo esse último por exigência legal para combater problemas dentários, porém sem função de tratamento. A Figura 2 ilustra o processo de tratamento de água.

Em reação com a alcalinidade do meio, natural ou adicionada, o coagulante forma uma substância gelatinosa de carga superficial positiva que atrai as cargas negativas dos coloides em suspensão na água, assim formando partículas de maior tamanho, chamadas flocos, que têm maior velocidade de sedimentação. Na decantação, a água com flocos entra na zona de turbilhonamento, ainda com agitação das partículas, passa por uma parede difusora para a zona de decantação e desce lentamente, acumulando um lodo na zona de repouso, sem influência de corrente da água, e, na zona de ascensão, a água clarificada decanta com poucas partículas suspensas. Os sólidos removidos formam o lodo e sua característica depende da qualidade da água bruta, dureza, tipo de captação, processo de tratamento, coagulante usado, qualidade final desejada, entre outros fatores (COSTA, 2015).

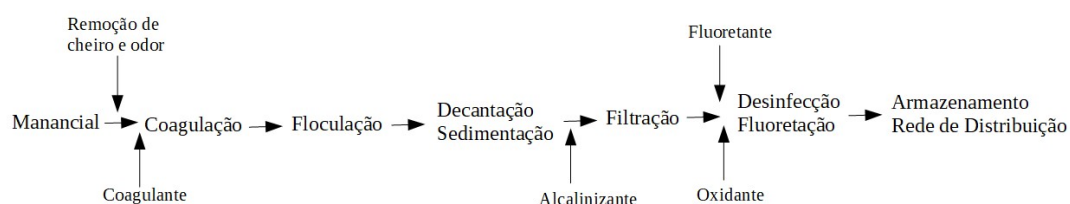
O lodo gerado tem grande variabilidade, contendo diversas partículas que podem causar cor e turbidez à água. Essa cor pode ser causada pela presença de compostos húmicos e de minerais precipitados da água bruta e compostos, como hidróxidos de alumínio e ferro, oriundos dos produtos químicos utilizados para a coagulação (KATAYAMA, 2012). A forma de remoção do lodo pode ser contínua, periódica com descargas por ciclos ou intermitente, bem como os tipos de remoção podem ser manuais, mecânico ou hidráulico. A descarga deve ser dimensionada para esgotá-lo em duas horas, embora a NBR 12216 (ABNT, 1992) recomenda até seis horas (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Figura 1 – Volume de água potável produzido e consumido no Brasil por ano.



Fonte: Brasil (2023).

Figura 2 – Fluxograma do processo convencional de tratamento de água.



Observações:

1.Coagulantes: Sulfato de Alumínio, Policloreto de Alumínio.
2.Alcalinizante: Hidróxido de Sódio

3.Oxidante: Cloro gás, Hipoclorito de sódio.

4. Fluoretante: Ácido fluossilícico, Fluossicato de sódio.

Fonte: Autoras (2022).

As operações unitárias utilizadas no processo de tratamento de água devem garantir a potabilidade da água, atendendo os parâmetros definidos pela Portaria

GM/MS nº 888, que dispõe “sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2021) e pela Portaria Estadual nº 10, que “define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento” (SESRS, 1999).

O grande volume de lodo produzido torna a destinação dele essencial, pois quanto mais próximo da universalização da distribuição de água potável, maior é o volume do rejeito. Pesquisas sobre o reaproveitamento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) para avaliar os meios de utilizar esse resíduo em outra atividade ou processo produtivo é de suma importância, visto que o destino dado a esse resíduo, geralmente é a disponibilização *in natura* nos cursos d’água causando grande impacto negativo. O diagnóstico para analisar o gerenciamento e volume de lodo de ETA é fundamental para compreender a situação, melhorar e padronizar parâmetros e discutir sobre a cultura de gestão do lodo de ETA, ou a falta dela (OLIVEIRA e RONDON, 2016).

Bittencourt *et al.* (2012) destacaram os desafios para o uso do lodo como matéria-prima, devido à instabilidade de suas características, aceitação no mercado dos resíduos sólidos, demanda sazonal ou inexistente por parte de empreendimentos capazes de incorporá-lo em seu processo produtivo, desconfiança da ausência de patógenos para uso agrícola e custo de armazenamento e transporte. Em relação à política de incentivo para o uso desse resíduo, faltam recursos financeiros e conhecimento técnico, há dificuldade para licenciamento, fiscalização e apoio da população, ausência de padrão de cadastro e informações, bem como deficiência da legislação, pois apenas a Resolução nº 375 (CONAMA, 2006) define critérios para o uso agrícola de lodo de ETE, sem abordar o uso de lodo de ETA.

Diversos estudos demonstraram a viabilidade técnica da incorporação do lodo como substituto de parte das matérias-primas usualmente empregadas em cerâmicos convencionais, em função de similaridade de características físicas e químicas entre estes materiais, sem alterar significativamente as propriedades finais do produto (MEGDA *et al.*, 2005; ALÉSSIO e TEIXEIRA, 2005). Além disso, as temperaturas usuais do processamento cerâmico podem promover a inertização dos resíduos

(PINHEIRO *et al.*, 2014). Dessa forma, poderiam ser obtidos produtos cerâmicos, que além de agregar valor comercial ao lodo de ETA, se mostram ambientalmente amigáveis (WOLFF *et al.* 2015). Assim, a incorporação do lodo nas peças conformadas apresenta-se como uma solução, desde que o custo para a indústria de cerâmica e para o consumidor final sejam viáveis.

1.1 Justificativa e problema

O estudo do reaproveitamento de rejeito de processos de tratamento de água é necessário para verificar meios de uso antes da disponibilização em aterros. O maior volume de rejeito no processo de tratamento convencional ocorre na clarificação da água com a formação do lodo. Esse resíduo vem sendo, muitas vezes, despejado *in natura* afetando diretamente o meio ambiente e, principalmente, os cursos d'água.

A destinação correta, conforme a legislação, apresenta-se como uma alternativa para disponibilização, mas o impacto ambiental e econômico, devido às dificuldades para manter aterros, o transporte, os custos, entre outros, apontam para a necessidade de alternativas para solução definitiva. A incorporação do lodo a algum processo produtivo é um desses meios, bem como o uso em confecção de cerâmica, propicia a inertização do material e um uso, diferente da disponibilização em aterros.

Algumas características do lodo podem ser observadas na Tabela 1, na qual são apresentadas as proporções de alguns compostos em amostras de lodo da ETA, em São Leopoldo, RS, mesma estação cujo material foi fornecido para este estudo. A avaliação das características do resíduo, baseado em laudo de análises (Anexo A), aponta que a amostra não apresenta características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. O lodo apresenta alto teor de alumínio, ferro e manganês, tendo sua classificação como resíduo “Classe II – Não Inerte”. Laudo realizado em outro ano (Anexo B) aponta também a quantidade excessiva destes parâmetros (Tabela 2).

Tabela 1 – Características do lodo da ETA Imperatriz Leopoldina de São Leopoldo, RS (SANTOS *et al.*, 2001).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	QUANTIDADE (%)
Dióxido de Silício - SiO ₂	34,80
Óxido de Alumínio - Al ₂ O ₃	22,30
Óxido de Titânio - TiO ₂	0,96
Óxido de Ferro - Fe ₂ O ₃	6,60
Óxido de Cálcio - CaO	0,40
Óxido de Potássio - K ₂ O	0,57
Óxido de Sódio - Na ₂ O	0,23
Óxido de Magnésio - MgO	0,69
Óxido de Manganês - MnO	0,17
Enxofre - S (ppm)	2990
Óxido de Ferro II - FeO	2,90

Fonte: Adaptado de Margem, 2008.

Tabela 2 – Resultados da composição das amostras do lodo em diferentes períodos.

PARÂMETROS	2018 (mg/kg)	2020 (mg/kg)
Teor de Alumínio	7.138,33	2.967,77
Teor de Ferro	3.707,19	250,61
Teor de Manganês	69,73	47,62

Fonte: Autoras (2021), baseado nos laudos (ANEXOS A e B) do laboratório contratado.

Apesar de o alto teor de alguns compostos devido às características da água do rio e aos produtos adicionados no tratamento da água, esses elementos ficam inertizados na massa cerâmica. A matéria orgânica presente no lodo da ETA será reduzida no preparo do lodo e no processo de queima. Diante dos resultados apresentados, está claro que o lodo tem compatibilidade para ser agregado à argila para produção de produtos cerâmicos convencionais.

A Tabela 3 apresenta os resultados da composição da argila vermelha proveniente da região de Nova Santa Rita, RS, em estudo de Teloeken *et al.* (2011) para incorporação de lodo galvânico.

Tabela 3 – Composição química por fluorescência de raio-X da argila vermelha utilizada por Teloeken *et al.*, (2011).

ÓXIDOS	ARGILA (%)
SiO ₂	67,54
Al ₂ O ₃	13,28
Fe ₂ O ₃	4,95
MnO	0,04
MgO	2,6
CaO	0,29
Na ₂ O	0,2
K ₂ O	2,76
TiO ₂	0,64
P ₂ O ₅	0,03

Fonte: Adaptado de Teloeken *et al.* (2011).

A composição química da argila é similar ao do lodo de ETA, apresentando-se como alternativa o incremento desses resíduos na massa para fabricação dos produtos cerâmicos. A proporção de adição é a questão fundamental a ser definida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é avaliar a viabilidade da incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água em uma argila vermelha empregada na fabricação de tijolos convencionais.

1.2.2 Objetivos específicos

Caracterizar o lodo de Estação de Tratamento de Água utilizado para a produção dos tijolos;

Promover o beneficiamento do lodo, com remoção da água em excesso para que ele esteja na umidade necessária para incorporação à argila;

Desenvolver diferentes formulações de lodo/argila para a produção dos tijolos;

Realizar as curvas de queima para a obtenção dos corpos cerâmicos;

Caracterizar os tijolos através das propriedades físicas e mecânicas;

Avaliar a compatibilidade ambiental dos resíduos dos tijolos produzidos conforme normas de solubilização.

1.3 Abrangência e limites do trabalho

Importante apontar as considerações pertinentes em relação ao desenvolvimento deste trabalho.

A coleta do material restringiu-se a um decantador utilizado na Estação de Tratamento de Água Imperatriz Leopoldina, de São Leopoldo – RS, a qual possui quatro tanques decantadores para o processo de tratamento de água para todo o

município, assim, condições de operação durante o mês de coleta podem ter afetado de maneira diferente cada unidade. Uma coleta composta pelos quatro decantadores teria que ser realizada em período de um mês, pois cada unidade é esgotada para limpeza a cada semana, garantindo que em qualquer situação operacional haja uma situação homogênea em relação a quantidade de lodo acumulada. A coleta do lodo foi realizada durante a limpeza de um único decantador.

A amostra doada de argila foi retirada do acumulado de preparo finalizado na olaria na data marcada para a coleta, sendo que as variações de temperatura e umidade do ar não foram medidas no momento da coleta. Também não foi avaliada a diferença de materiais preparados na olaria, sendo apenas coletado material do acumulado que estava sendo utilizado para a confecção dos tijolos da própria olaria.

Os ensaios foram realizados nos Laboratórios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha. As análises de absorção foram realizadas no Laboratório Central do Sistema de Esgotamento Sanitário do Serviço Municipal de Água e Esgotos de São Leopoldo. Assim, as aferições e calibrações dos equipamentos seguem o modelo de gestão de cada laboratório, conforme tipo de equipamento e normas seguidas pelas unidades.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Estima-se que o Brasil produza quatro milhões de toneladas por ano de lodo de ETA (SILVA, 2011). A geração de lodo de tratamento de água é crescente, visto que a meta do país é atingir 100% de água potável distribuída em 2033, conforme o novo Marco Legal do Saneamento (BRASIL, 2020). Delgado (2016) apontou que a disposição final ambientalmente adequada do lodo de ETA tem sido o maior problema das operadoras de saneamento. A disposição do lodo no próprio manancial onde há a captação de água é uma realidade no país e, quando ocorre outra destinação final, o predominante no Brasil é o aterro sanitário, porém o reúso e a reciclagem são possíveis, principalmente através da incorporação do lodo.

Os problemas ambientais da disposição do lodo em corpos ambientais são: risco à vida aquática residente, aumento da quantidade de sólidos, assoreamento, mudança de cor e turbidez, aumento das concentrações de alumínio e ferro, além de gradativamente poder causar risco à saúde pública, uma vez que os lodos concentram as impurezas presentes na água bruta (SILVA, 2011). Os aterros têm custo elevado e necessidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos, onde ocorre a geração do lodo, porém é o descarte mais utilizado, apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos indicar a redução de resíduos sólidos urbanos úmidos para essas unidades. Os aterros não deveriam ser usados para a disposição final do lodo digerido desidratado ou o lodo bruto desidratado (HENDGES, 2017).

Santos, Manzato e Filho (2016) apontaram que a argila caulínica está presente na composição mineralógica do lodo de ETA. Freitas (2018) disse que, em tratamento térmico para calcinação da caulinita, pode-se gerar material próximo ao metacaulim para fabricação de geopolímero. Paiva *et al.* (2016) buscaram identificar alternativas para disposição final ou reúso do lodo como insumo para processos industriais e constataram que ele é mais utilizado na construção civil, dependendo da sua caracterização para a escolha do produto.

2.1 Aplicação do lodo na construção civil

A construção civil tem um consumo elevado de recursos naturais, sendo a área com mais aplicações de lodo de ETA estudadas em diversas proporções. Costa (2011) obteve bom desempenho com cerca de 10% como agregado na produção de calçadas, enquanto Huang e Wang (2013) estudaram a aplicação de lodo de ETA em Taiwan na produção de agregado leve e obtiveram a densidade aparente reduzida em 17,5% em relação ao estabelecido pela norma ASTM C330. Estudo sobre a utilização do lodo como material fino incorporado ao agregado miúdo e ao ligante asfáltico em via úmida e em via seca mostraram-se viáveis tecnicamente, com melhoria nas propriedades mecânicas e de adesividade no concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) quando calcinado a 500 °C (MARTINEZ, 2014).

A incorporação do lodo de ETA em matriz de concreto foi estudada por Costa (2011) e concluído que, com certa redução da resistência à tração, até 10% de incorporação é viável. Nascimento (2019) observou que, com a mesma proporção, as características mecânicas foram otimizadas. Estudo realizado na Jordânia investigou a substituição do lodo de ETA ao cimento pozolânico na fabricação de lajotas para uso externo e a proporção de 40% de lodo atendeu à resistência mínima requerida, sendo identificada uma possível correlação linear entre o percentual de lodo e a resistência à ruptura (ALQAM *et al.*, 2011).

Concentrações baixas de sílica, ferro e alumínio relacionadas às propriedades do cimento fazem com que o lodo de ETA seja uma opção viável a ser incorporado para a produção de argamassa, pois os principais componentes do cimento, CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, também são encontrados nos lodos de Estações de Tratamento de Água. A incorporação de lodo à argamassa para substituição do metacaulim na produção de geopolímero foi estudada por Freitas (2018) que detectou viabilidade com adição ou substituição parcial. Geraldo *et al.* (2017) apontaram ser possível o uso do lodo com cinza de casca de arroz. A utilização do lodo calcinado substituindo o cimento pozolânico foi abordada por Tantawy *et al.* (2015) que apontam a preservação das características necessárias até 800 °C, sem a perda de resistência. Gastaldini *et al.* (2015) obtiveram a melhor eficiência a 600 °C com 1 hora de permanência e Godoy

(2018) obteve índice mínimo de resistência à compressão para 80% das amostras até adição de 50% de lodo para atendimento do índice mínimo de resistência.

Na produção de solo-cimento, a mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas é necessária, bem como o teor de umidade na massa específica seca. A quantidade de argila no solo determina o teor de cimento empregado, recomendando-se até 10% devido ao custo (DELGADO, 2016). Rodrigues e Holanda (2013) mostraram que até 1,25% de solo substituído por lodo de ETA interfere na hidratação do cimento, ficando limitado o reuso para tijolo solo-cimento. O índice de vazios na substituição do lodo de ETA no solo-cimento pode comprometer a durabilidade pelo aumento do índice de retração volumétrica, bem como a presença de silte pode ocasionar menor resistência ao cisalhamento.

Diferentes resíduos vêm sendo pesquisados para uso em pavimentação de estradas e ruas e a incorporação do lodo de ETA apresenta-se como alternativa para aterro do pavimento (LUCENA, 2012). A proporção de lodo em substituição à areia para pavimentos foi estudada por Castro (2014), que avaliou o desempenho mecânico pela resistência à compressão e concluiu ser viável na proporção de 15%. Coelho *et al.* (2015) estudaram o uso na pavimentação rodoviária utilizando solo arenoso e argiloso, respectivamente, na proporção de 1:0,25 e 1:1 e obtiveram resultado positivo para uso em subleito pela pouca rugosidade e baixa porosidade, não tendo bom entrosamento com os solos. Delgado (2016) obteve comportamento satisfatório na incorporação de 5% ao pó de pedra sem adição de agente estabilizador e de 15% quando melhorado com cimento. Lucena (2012) estudou o comportamento da mistura de solo arenoso com diferentes porcentagens de lodo de ETA, adicionando agentes estabilizadores como cal, cimento e emulsão asfáltica, sendo viável o emprego de 20% de lodo e 1% de emulsão asfáltica.

2.2 Aplicação do lodo na produção de cerâmica

Na indústria cerâmica, a adição do rejeito de processo de tratamento de água dependerá do custo e da disponibilidade do consumidor final arcar com ele. Fator

importante a ser considerado para o incremento do lodo de ETA na fabricação da cerâmica convencional é a capacidade da argila de tolerar a presença de diversos tipos de materiais, ainda que em elevadas quantidades (CAPISTRANO, 2020). O lodo contribui na redução da energia total do processo, baixando a temperatura de queima por causa da presença de fração orgânica. A combinação do lodo com outros resíduos pode resultar em propriedades que geram produtos mais seguros e com desempenho superior (MYMRIN *et al.*, 2017), o que a torna mais econômica, além da vantagem ambiental (WOLFF *et al.*, 2015). O aumento do teor adicionado à massa cerâmica, causa a redução da resistência mecânica dos corpos de prova, porém a similaridade química e mineralógica leva a resultados mais favoráveis devido a redução das tensões durante a queima (RODRIGUES e CARNEIRO, 2023).

A temperatura de queima e a proporção do lodo determinam a qualidade da peça, bem como o aumento do teor de lodo resulta em redução da resistência à compressão, diminuição da densidade e aumento da absorção de água (ANYAKORA, 2013). A substituição do solo natural por lodo de ETA para a fabricação de tijolos de solo-cimento foi estudada, obtendo-se a proporção de substituição de até 1,25% do solo natural (RODRIGUES e HOLANDA, 2013) e 2% para resultados em conformidade com as normas vigentes. Chalhoub (2019) concluiu que a incorporação máxima para atender aos requisitos básicos do produto e do método de fabricação é de 9% de lodo, sendo evitada a retração e o declínio da resistência.

Tartari *et al.* (2013) utilizaram o lodo de ETA na produção de artigos de cerâmica vermelha e verificaram que o lodo pode ser aditivo em massas argilosas de elevada plasticidade para equilibrar a organização das partículas e otimizar o processo de secagem, eles concluíram que em processo de extrusão com quantidades fracionadas é uma alternativa viável na fabricação de cerâmica vermelha. Anyakora (2013) estudou a fabricação de blocos cerâmicos na Nigéria com diferentes frações de lodo de ETA, submetidos ao processo de queima a diferentes temperaturas, e obteve 10% de lodo como limite para que os requisitos necessários fossem mantidos, tendo sido atingidos na temperatura de queima de 900 °C. Em consonância a estes estudos, a avaliação da viabilidade técnica da incorporação do lodo de ETA para a fabricação de tijolos cerâmicos indicou o uso de até 10% (CASTÃO *et al.*, 2017), tendo Couto (2011) indicado a mesma proporção para não comprometer as propriedades físicas e

mecânicas do material. Outras proporções foram encontradas para a substituição da massa de argila pelo lodo de ETA para produção de blocos cerâmicos, como Benlalla *et al.* (2015) que concluíram ser compatível a incorporação de até 20%.

Pesquisadores também apontaram a inviabilidade do uso de lodo de ETA na fabricação de cerâmicos. Kizinievič *et al.* (2013) utilizaram o lodo de ETA na Lituânia, com aproximadamente 70% de óxido de ferro (Fe_2O_3) e diâmetro das partículas médio de 138 μm na incorporação em produtos cerâmicos na proporção de 40% em relação a massa de argila e queimados entre 1000 e 1050 °C, resultando na redução da resistência à compressão, baixa densidade e aumento da porosidade.

Mymrin *et al.* (2017) investigaram a combinação das propriedades complementares de resíduos industriais ao lodo de ETA, com atendimento aos requisitos para blocos cerâmicos e imobilização de contaminantes, combinando o lodo com resíduos ricos em sílica da indústria do vidro, sais com metais pesados de neutralização ácida da reciclagem de baterias e mistura de argila com areia. Concluíram que à 900 °C a resistência foi muito semelhante àquela produzida com argila e areia, bem como os testes de solubilização e lixiviação apontaram a imobilização dos metais pesados. Ainda, à 950 °C, a resistência foi muito superior aos compostos integralmente de matéria-prima virgem.

A incorporação de lodo de ETA e cinza de casca de arroz foi investigada por Hegazy *et al.* (2012) e demonstraram que, a 1200 °C e 75% de lodo, os tijolos apresentaram propriedades mecânicas superiores aos controles. Silva (2011) investigou a incorporação de lodo de ETA e cinzas de carvão na fabricação de tijolos ecológicos, indicando que podem ser usados atendendo à norma brasileira quanto à resistência a compressão e absorção de água. O estudo da fabricação de cerâmica artística foi desenvolvido por Pozzobon *et al.* (2013), que concluíram ser possível incorporar até 18% de lodo à massa para a fabricação de artefatos artísticos e sugerem estudos com maior porcentagem.

2.3 Aplicação do lodo para aterro de valas

Os serviços de manutenção das redes envolvem a retirada do solo contaminado, que deve ser reaproveitado ou corretamente destinado, conforme a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), representando custo na destinação e na compra do saibro para a vala. Uma alternativa é o uso do lodo de ETA inertizado com cal hidratada para o reaterro de valas. O Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2) é excelente para trabalhos de cimentação e estabilização de solos, não necessita ser triturado e a temperatura de hidratação não é elevada como a cal virgem (CaO), que precisa de maior hidratação (DELGADO, 2016). O resíduo do lodo de ETA, classificado como não perigoso e não inerte pela NBR 10004 (ABNT, 2004), tendo cal hidratada adicionada, passa a ser inerte.

2.4 Aplicação do lodo em recuperação de áreas degradadas

O uso do lodo de ETA para recuperação de áreas degradadas é uma alternativa, porém, devido a sua composição, esta aplicação demanda controle para não alterar as propriedades estruturais do solo. Bittencourt *et al.* (2012) avaliaram o efeito da aplicação de lodo de ETA em solo degradado, com e sem lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e obtiveram resultado favorável quando ambos são combinados. A aplicação do lodo de ETA com resíduos orgânicos de animais é viável na recuperação de áreas degradadas.

2.5 Aplicação de lodo como substrato para produção agrícola

O resíduo gerado nos decantadores de ETA pode ser usado como adubo agrícola, mas é necessária a caracterização dele para monitorar a presença de metais pesados, como ferro e alumínio, que afetam o sistema solo-planta. O lodo tem índice baixo de nutrientes (N:P:K) e baixa concentração de matéria orgânica, precisa de pré-tratamento para remoção de metais potencialmente tóxicos e enriquecimento com

macro e micronutrientes para desenvolvimento de plantas. O lodo pode ser utilizado na compostagem, em sistemas de leiras, para incremento da umidade, fornecimento de traços minerais e ajuste de pH, devendo a umidade ser adequada, a dosagem ser correta para cada cultura e os sólidos não cobrirem folhas e prejudicar a fotossíntese (BITTENCOURT *et al.*, 2012).

2.6 Aplicação do lodo para tratamento de águas residuárias

O lodo pode ser utilizado no tratamento de águas residuárias. Ahmad *et al.*, (2016) estudaram o uso do lodo como reagente no processo de tratamento de águas residuárias e demonstraram ser uma alternativa ambientalmente viável, sustentável e econômica. Além disso, foi registrada boa eficiência do lodo com maiores concentrações de alumínio na remoção de fósforo de águas residuárias, tendo sido estudado de 253 a 144.000 mg/kg, apresentando também viabilidade econômica (KRISHNA *et al.*, 2016). Nair e Ahammed (2015) compararam em bancada o uso do lodo com o cloreto de polialumínio (PAC) e apenas o coagulante aplicado em efluente de reator anaeróbio de fluxo ascendente com manto de lodo e obtiveram resultados análogos.

2.7 Outras aplicações

O lodo pode ser destinado a aterros sanitários de resíduos não perigosos, pois ele é classificado como resíduo sólido classe II não perigoso e não inerte pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Essa disposição é viável tecnicamente e possui regulamentação pelas legislações ambientais vigentes. A disposição do lodo de ETA em ETE é uma alternativa, sendo possível controlar o Sulfeto de hidrogênio (H₂S), contribuir para a sedimentação, aumentar a eficiência dos decantadores primários e a remoção de Fósforo. Pereira (2011) apontou que o adensamento de lodo em sacos de geotecido atende aos padrões de lançamento exigidos pelas leis vigentes e que o lodo adensado pode ser encaminhado à ETE, sendo limitante as condições de projeto de carga de

sólidos e o volume afluente. O uso do lodo para a remoção de metais pesados é uma alternativa, sendo que Abo-El-Enein *et al.* (2017) estudaram o uso do lodo de ETA calcinado na remoção de Cobre (Cu) e Chumbo (Pb) e este se apresentou como eficiente adsorvente, atingindo até 99,99% de remoção.

As principais fontes utilizadas neste trabalho estão em destaque na Tabela 4.

Tabela 4 – Referências bibliográficas de destaque no uso do lodo de ETA.

FONTE – LOCAL – RESUMO
<p>ANYAKORA, 2013 – Abuja, Nigéria – Aplicação do lodo de ETA em diferentes proporções e temperaturas de queima para fabricação de tijolos, tendo sido obtido resultado favorável e os testes de lixiviação apresentaram-se dentro dos limites aceitáveis.</p>
<p>BENLALLA <i>et al.</i>, 2015 – Rabat, Marrocos – Avaliação da incorporação de lodo de ETA na fabricação de cerâmica em diferentes proporções e temperaturas de queima para determinar as propriedades tecnológicas, obtendo alta resistência mecânica.</p>
<p>COELHO <i>et al.</i>, 2015 – Londrina, Brasil – Uso do lodo de ETA em mistura de solo como base, sub-base e subleito de pavimento de estradas, tendo obtido resultado que pode ser usado em camadas de pavimentos, mas aponta necessidade de mais estudos.</p>
<p>GASTALDINI <i>et al.</i>, 2015 - Santa Maria, Brasil – Investigação do uso do lodo de ETA como adição mineral para concreto, sendo que com a cinza do lodo foi possível obter a mesma resistência no concreto com mistura apenas de cimento Portland.</p>
<p>GERALDO <i>et al.</i>, 2017 – Campinas, Brasil – Produção de geopolímero com lodo de ETA não calcinado em parcial substituição de metacaulim, com diminuição da resistência à compressão e aumento da porosidade e permeabilidade.</p>
<p>HUANG e WANG, 2013 – Taichung, Taiwan – Lodo de ETA para produção de agregado leve e avaliação das propriedades de engenharia, resultando em atendimento à ASTM C330, tendo sido cumprido os requisitos de concreto leve estrutural.</p>
<p>KIZINIEVIČ <i>et al.</i>, 2013 – Vilnius, Lituânia – Influência do lodo nas propriedades físicas e mecânicas, parâmetros estruturais e composição mineralógica, obtendo redução da resistência à compressão, baixa densidade e aumento da porosidade da cerâmica.</p>
<p>KRISHNA <i>et al.</i>, 2016 – Penrith, Austrália – Uso do lodo de ETA como adsorvente para remoção de fósforo (P) de águas residuais, tendo resultado de boa correlação entre o alumínio e a massa de ferro e sido demonstrado eficácia e baixo custo.</p>
<p>MYMRIN <i>et al.</i>, 2017 – Curitiba, Brasil – Uso do lodo de ETA como principal componente para produção de cerâmica em combinações com sais de neutralização ácida e resíduos de vidro, tendo sido obtido resultado satisfatório.</p>
<p>NAIR e AHAMMED, 2015 – Surat, Índia – Avaliação do uso de lodo de ETA e PAC como coagulante para o pós-tratamento de águas residuais em UASB, sendo substancialmente maior a remoção quando aplicado o lodo de ETA junto ao PAC.</p>

Fonte: Autoras (2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados e os métodos adotados estão descritos abaixo.

3.1 Materiais

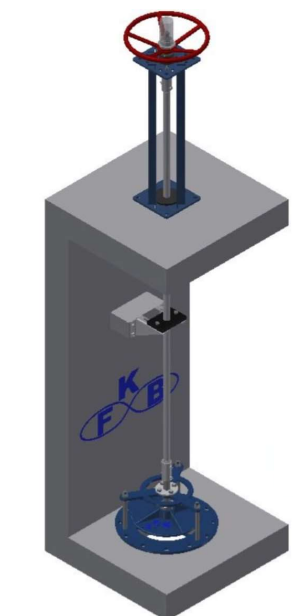
Para a obtenção dos tijolos utilizou-se os seguintes materiais: lodo de Estação de Tratamento de Água e argila. O lodo foi fornecido pela Serviço Municipal de Água e Esgotos, de São Leopoldo – RS. A argila utilizada foi proveniente por doação da olaria da fábrica de Cerâmica Kaspary, localizada em Portão – RS.

3.2 Métodos

O lodo foi proveniente de um dos tanques de decantação, cuja numeração é a 2 para a equipe de operação da estação, que possui 4 dessas unidades para o tratamento de água potável para todo o município. A coleta foi realizada durante uma limpeza da unidade, que ocorre de forma manual e por empresa terceirizada, cuja frequência é mensal em condições normais de operação. Não há tratamento do resíduo gerado. O tanque foi esgotado, inicialmente abrindo as adufas do esgoto, cujo desenho esquemático está representado na Figura 4, para a saída do volume menos concentrado, posteriormente com a condução manual do lodo concentrado no fundo com rodos de madeira para o canal da adufa. Esse lodo foi coletado, tendo sido acondicionados em 7 recipientes de 2 litros cada com tampa.

A argila foi proveniente da olaria da fábrica de cerâmica e foi coletada da composição final do processo de preparo. Estavam dispostos diversos acúmulos de argila em diferentes etapas de preparo, alguns ainda sendo revolvidos com carregadeiras para que a umidade necessária à massa fosse atingida. A coleta ocorreu na composição pronta para a fabricação dos artefatos cerâmicos, que inclusive estava sendo carregado para a fábrica. Foram coletados 8 sacos de 5 litros com a argila pronta para confecção de tijolos, armazenados em sacos plásticos.

Figura 3 – Desenho esquemático de adufa com mecanismo de abertura.



Fonte: FKB Válvulas (2024).

3.2.1 Caracterização das Matérias-primas

Lodo e argila foram calcinados em estufa Solab, modelo SL-100, a 100 °C até que a umidade fosse menor do que 8%, testado com termo-balança Ohaus, modelo MB25. Depois, lodo e argila foram moídos e passados em peneira de 200 mesh. Foram homogeneizados e as amostras foram quarteadas conforme NBR NM 26 (ABNT, 2001). Ambos os materiais foram umidificados a 4% com borrifador de água e posteriormente homogeneizados por peneiramento. A distribuição granulométrica da argila e do lodo foi realizada com 7 peneiras (270, 200, 140, 100, 70, 50 e 40 mesh) para o lodo e 8 peneiras (270, 200, 140, 100, 70, 50, 40 e 30 mesh) para a argila, colocadas de forma decrescente sobre um agitador Kline de 230 rpm por 20 min.

Através do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, EPA 3050, Método 3111 A, B, D e Método 2540 C, D, E, a caracterização química do lodo foi realizada. Para identificar e quantificar composições da argila foi realizada a análise e espectroscopia de fluorescência de raios-X com o equipamento espectômetro de

fluorescência de raios-X WDS, modelo RIX 2000, da marca Rigaku e tubo de raios-X de Rh, utilizando 10 mg de cada amostra moída e peneirada a 200 mesh. Foi utilizada curva de calibração a partir de padrões de rocha tabelados da Geostandards1 e metodologia de preparo de amostra de pastilha prensada. A análise de elementos maiores foi realizada pelo método com curvas de calibração, através de técnicas gravimétricas, expondo 1 g de amostra a 1050 °C por uma hora, sendo avaliada a presença de voláteis (Laudo no Anexo C).

3.2.2 Definição das Formulações

Para cada uma das proporções de argila/lodo utilizadas, foram confeccionados 60 corpos de prova, totalizando 300 corpos de prova, assim distribuídas (em porcentagens): 100/0; 97,5/2,5; 95/5; 90/10; 80/20. Metade deles foram conformados com pressão de compactação de 25 MPa e outra metade de 50 MPa. Os 30 corpos de prova com mesma proporção de incorporação e mesma pressão de conformação foram divididos em três grupos iguais para a queima com 900, 1000 e 1100 °C. A codificação e formulação das amostras de lodo e argila estão representadas na Figura 3, de A0 I T1 à A3 II T3, e na Tabela 5, de A0 I T1 à A4 II T3, pois as amostras A4 foram preparadas posteriormente porque durante os ensaios os resultados foram satisfatórios, então se definiu pela composição de outra fração para haver uma linha de corte.

Tabela 5 – Codificação e formulação das amostras de argila/lodo com diferentes pressões e temperaturas.

AMOSTRAS (%) (argila/lodo)	PRESSÃO	TEMPERATURA		
		T1 (900 °C)	T2 (1000 °C)	T3 (1100 °C)
A0 (100; 0)	I (25 MPa)	A0 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A0 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A0 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A0 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A0 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A0 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A1 (97,5; 2,5)	I (25 MPa)	A1 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A1 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A1 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A1 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A1 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A1 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A2 (95; 5)	I (25 MPa)	A2 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A2 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A2 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A2 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A2 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A2 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A3 (90; 10)	I (25 MPa)	A3 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A3 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A3 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A3 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A3 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A3 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A4 (80; 20)	I (25 MPa)	A4 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A4 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A4 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A4 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A4 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A4 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

Fonte: Autoras (2023).

3.2.3 Conformação

A confecção dos corpos de prova foi realizada com o auxílio de uma matriz de aço, que foi produzida pelos técnicos dos Laboratórios de Fabricação Mecânica e Centro de Usinagem da unidade. Essa matriz (Figura 4) tem três partes com encaixes facilitando desenformar o corpo de prova com o uso de desmoldante pulverizador. A prensa hidráulica manual da marca Ribeiro, modelo RP0002, com capacidade para 30t foi utilizada para a conformação de todos os corpos de prova.

Figura 4 – Matriz utilizada para conformação dos tijolos.



Fonte: Autoras (2025).

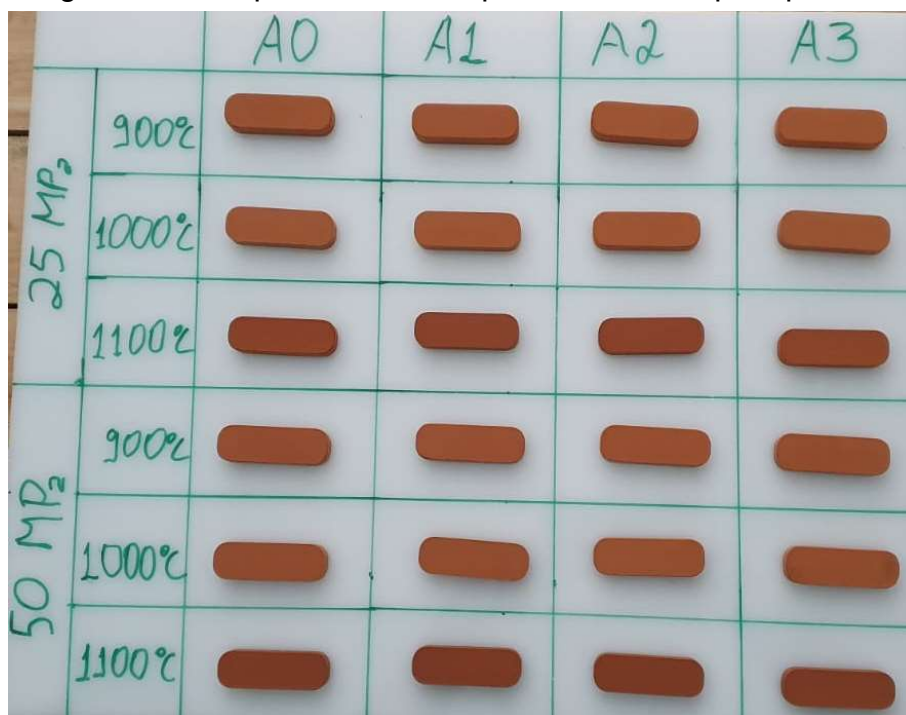
O procedimento foi o de pulverizar a forma da matriz com desmoldante, acondicionar o material preparado com a proporção argila/lodo A0, sem compactar e removendo o excesso com régua de metal, na sequência, fechar a matriz, colocar na prensa, prensar manualmente até atingir 25 Mpa, primeira pressão de conformação definida, deixando por 15 segundos. Esse procedimento foi realizado para conformação de 30 corpos de prova. Depois, para a mesma proporção de argila/lodo, outros 30 corpos de prova foram conformados para a segunda pressão de conformação utilizada, 50 MPa. Posteriormente, para cada uma das outras misturas de argila/lodo, os procedimentos foram repetidos, totalizando 300 corpos de prova. Na Figura 5 estão representados os corpos de prova de A0 até A3, com proporções, temperaturas e pressões diferentes, visto que os corpos de prova da proporção argila/lodo de 80/20 em peso foi confeccionado posteriormente.

3.2.4 Secagem e queima

Os corpos de prova, após confeccionados, foram colocados em formas para secagem, com indicação clara da fração e da pressão de conformação empregada. A secagem elimina água livre, propiciando ao material adquirir resistência mecânica para a etapa de queima, evitando assim contrações diferenciadas e trincas. Foi utilizada estufa, marca De Leo, para a secagem a 100 °C, por 24 horas para todos os corpos de prova.

A queima foi realizada para transformar cada corpo de prova em tijolo, promovendo reações para aumento da resistência e levando à compactação. Foi utilizado o forno da marca Schaly para as três temperaturas definidas, 900, 1000 e 1100 °C, a uma taxa de 150 °C/h até atingir a temperatura de queima para cada grupo de peças.

Figura 5 – Comparativo dos corpos cerâmicos após queima.



Fonte: Autoras (2023).

3.2.5 Caracterização

A determinação das dimensões nos corpos de prova foi realizada por meio de um paquímetro antes e depois da queima, objetivando calcular a retração linear, conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005). Para o cálculo de retração linear de queima foi utilizada a Equação 1.

$$RL = ((C_i - C_f) / C_i) * 100 \quad (1)$$

Onde:

RL – Retração Linear, em %;

C_i – Comprimento inicial, em mm;

C_f – Comprimento final, em mm.

A determinação da massa do tijolo, antes e após a queima, foi realizada com o uso de balança de precisão da Bel Engineering, modelo Mark 210A. Conforme NBR 15270 (ABNT, 2005), a perda de massa foi calculada conforme a Equação 2.

$$PM = ((M_i - M_f) / M_i) * 100 \quad (2)$$

Onde:

PM – Perda de Massa, em %;

M_i – Massa inicial, em mg;

M_f – Massa final, em mg.

O índice de absorção da água foi determinado, conforme a NBR 15270-2 (ABNT, 2005), após a queima com o uso de balança analítica da Bel Engineering, modelo Mark 210A. A fórmula usada para o cálculo de absorção de água é apresentada abaixo, na Equação 3.

$$AA = ((M_f - M_i) / M_i) * 100 \quad (3)$$

Onde:

AA – Absorção de água, em %;

Mi – Massa inicial, em mg;
Mf – Massa final, em mg.

A resistência mecânica à flexão por 4 pontos foi determinada, conforme NBR 15270-3 (ABNT, 2005), para verificar a tensão em, no mínimo, oito das dez amostras de cada variável, temperatura, pressão e proporção de lodo com a máquina de ensaio universal EMIC para até 2.000 kN (Figura 6). A tensão de ruptura foi determinada com o uso da Equação 4.

$$\sigma = (3 \cdot P \cdot (L-l)) / (2 \cdot b \cdot d^2) \quad (4)$$

Onde:

σ – Tensão, em MPa;

P – Carga, em N;

L-l – Distância entre apoios inferior e superior, em mm;

b – Base, em mm;

d – Altura, em mm.

Figura 6 – Dispositivo para ensaio de resistência mecânica por flexão a 4 pontos. No detalhe, ruptura na amostra.



Fonte: Autoras (2023).

3.2.6 Compatibilidade ambiental

A análise de solubilização foi realizada conforme NBR 10006 (ABNT, 2004). A solução decorrente foi analisada para quantificar os elementos que estavam presentes na caracterização do lodo *in natura* e apresentavam-se em quantidades significativas. As análises físico-químicas seguiram a técnica do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Método 4500-SO₄ E para Sulfato e Método 3125 B para os outros elementos.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios e nas técnicas químicas aplicadas. Posteriormente, a análise e discussão sobre esses dados serão apresentados.

4.1 Resultados dos ensaios

A caracterização do lodo da ETA mostra um resíduo com composição que reflete o tipo de coagulante utilizado no processo de tratamento da água, caracterizado por alto teor de alumínio e ferro, devido ao uso do insumo Sulfato de alumínio ferroso. A argila apresenta teor acima de 56% e apresenta alto teor de ferro na sua composição. Potássio e sódio estão em baixas concentrações. Dados de caracterização do lodo e da argila são apresentados nas Tabelas 6 e 7. Esses dados evidenciam a possibilidade do uso do lodo em substituição à argila, dada sua composição química semelhante.

Tabela 6 – Análise química de alguns elementos metálicos presentes no lodo.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	RESULTADO (mg/kg)
Alumínio Total ¹	2.967,77
Ferro Total ¹	250,61
Manganês Total ¹	47,62
Sódio Total ¹	121,18
Sólidos dissolvidos voláteis ²	222.223,30
Sólidos suspensos voláteis ³	31.005,70

¹ EPA – 3050 B e SMWW – Método 3111 A, B, D

² SMWW – Método 2540 C

³ SMWW – Método 2540 D, E

Fonte: Autoras (2023), baseado no laudo (ANEXO A) do laboratório contratado.

Tabela 7 – Análise química de compostos químicos iônicos presentes na argila.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PESO (%)
SiO ₂	56,87
Al ₂ O ₃	17,55
TiO ₂	1,59
Fe ₂ O ₃	12,43
MnO	0,12
MgO	1,09
CaO	0,73
Na ₂ O	0,24
K ₂ O	1,09
P ₂ O ₅	0,49
LOI	7,80
Total	100,00

Observação: Padrões de rocha tabelados da Geostandards.

Fonte: Autoras (2023), baseado no laudo (ANEXO C) do laboratório contratado.

As Tabelas 8 e 9 apresentam a classificação granulométrica do lodo e da argila, respectivamente.

A granulometria do lodo e da argila utilizados mostraram-se similares. Os resultados demonstraram que cerca de 98% dos materiais contidos no lodo são de fração fina de silte e argila, bem como, aproximadamente 97% da composição da argila é representada por silte.

Tabela 8 – Distribuição granulométrica do lodo.

Nº DA PENEIRA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% ACUMULADA	% PASSANTE
270	2,00	0,37	0,32	0,32	99,68
200	2,83	1,39	1,18	1,50	98,50
140	4,00	17,52	14,93	16,43	83,57
100	5,66	89,01	75,86	92,28	7,72
70	6,73	8,89	7,57	99,86	0,14
50	9,51	0,01	0,01	99,86	0,14
40	12,70	0,00	0,00	99,86	0,14
Fundo	0,00	0,16	0,14	100,00	0,00
Σ		117,33	100,00		

Fonte: Autoras (2023).

Tabela 9 – Distribuição granulométrica da argila.

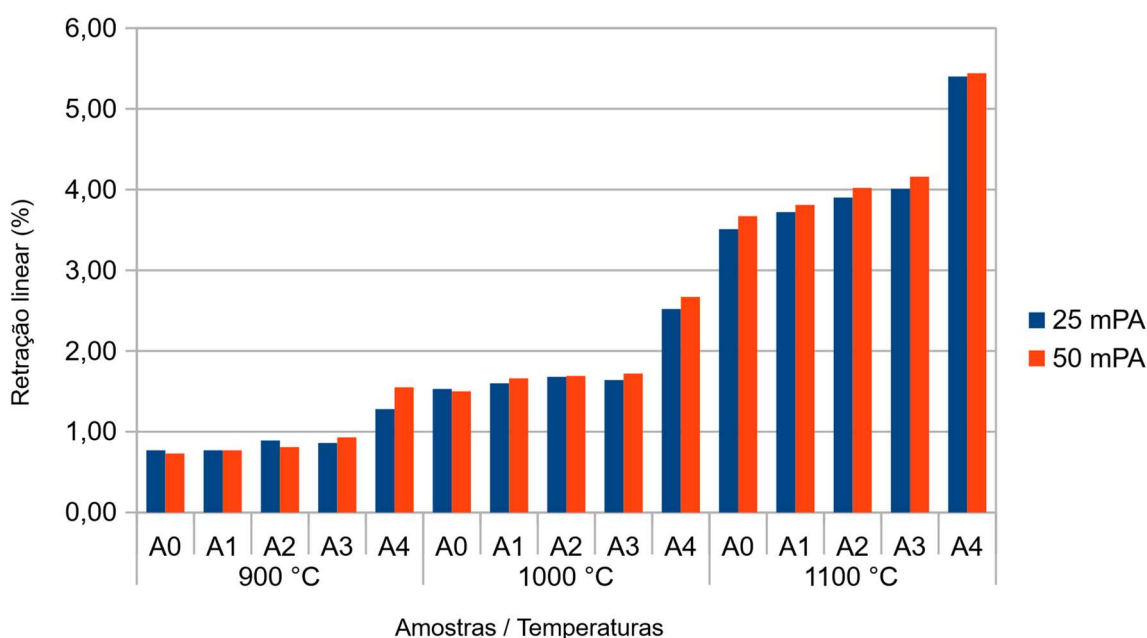
Nº DA PENEIRA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% ACUMULADA	% PASSANTE
270	2,00	0,59	0,51	0,51	99,49
200	2,83	3,00	2,57	3,08	96,92
140	4,00	2,20	1,89	4,97	95,03
100	5,66	55,34	47,50	52,47	47,53
70	6,73	54,32	46,62	99,08	0,92
50	9,51	0,20	0,17	99,26	0,74
40	12,70	0,14	0,12	99,37	0,63
30	16,00	0,00	0,00	99,38	0,62
Fundo	0,00	0,73	0,62	100,00	0,00
Σ		116,52	100,00		

Fonte: Autoras (2023).

As amostras A0, A1, A2 e A3, em todas as temperaturas de queima utilizadas, apresentaram comportamento semelhante, ou seja, não houve alteração nessas características em até 10% de adição de lodo. Na temperatura de 1100 °C houve pequeno aumento na retração linear conforme foi aumentada a fração de lodo utilizado

nas amostras. Esse efeito também foi evidente quando comparadas as pressões de conformações. A amostra A4 teve comportamento diferente, apresentando resultados mais elevados do que as outras amostras. Como esperado para materiais argilosos, o aumento da temperatura de queima refletiu em um aumento da retração linear. Os resultados de retração linear são apresentados na Figura 7.

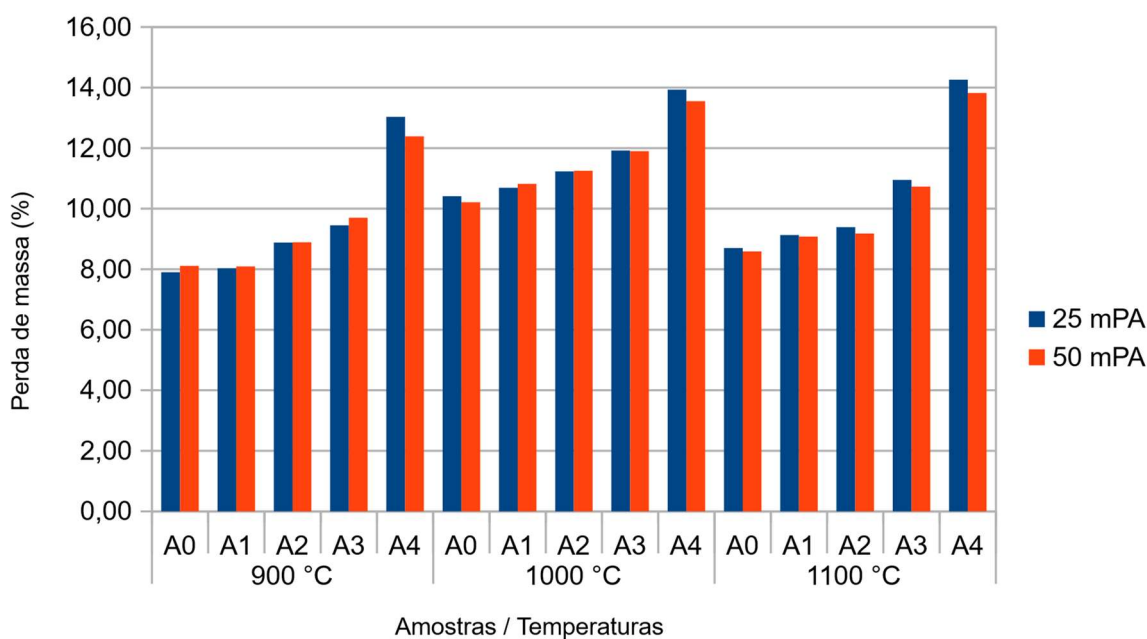
Figura 7 – Resultados médios de retração linear de queima das amostras.



Fonte: Autora (2025).

Em todas as temperaturas, o comportamento das amostras é semelhante nos ensaios de perda de massa. A Figura 8 ilustra a perda de massa das amostras em função da temperatura. Os resultados apontam para aumento desse parâmetro proporcional ao aumento da fração de lodo adicionado nas amostras, sendo mais evidente o aumento da perda de massa na fração de emprego de 20% de lodo na massa cerâmica. Comportamentos semelhantes nas duas pressões de conformação, 25 Mpa e 50 Mpa, são evidenciados.

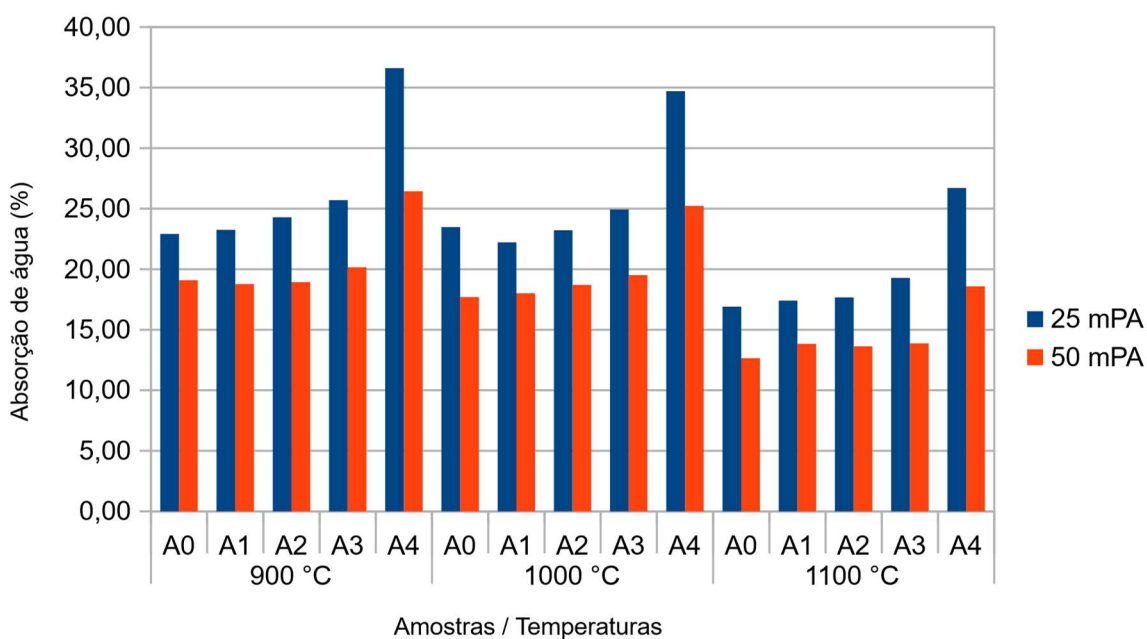
Figura 8 – Resultados médios de perda de massa na queima das amostras.



Fonte: Autora (2025).

Observa-se na Figura 9 que a absorção da água com o uso da pressão de 25 MPa na conformação dos tijolos, foi maior do que no emprego de pressão de 50 MPa. Não foi observada uma variação muito significativa nas duas pressões em relação às frações empregadas, no entanto, eventualmente apresentou um leve aumento da absorção proporcional ao aumento da fração de lodo utilizada. A exceção ocorreu com as amostras A4, cujo aumento da absorção deu-se nas duas pressões de conformação, sendo mais evidenciado com 25 MPa. Esta variação de resultados comparando-se as pressões de compactação deve-se, muito possivelmente, a uma maior compactabilidade das amostras conformadas a 50 MPa, o que deve ter proporcionado uma menor porosidade e, conseqüentemente, menor absorção de água.

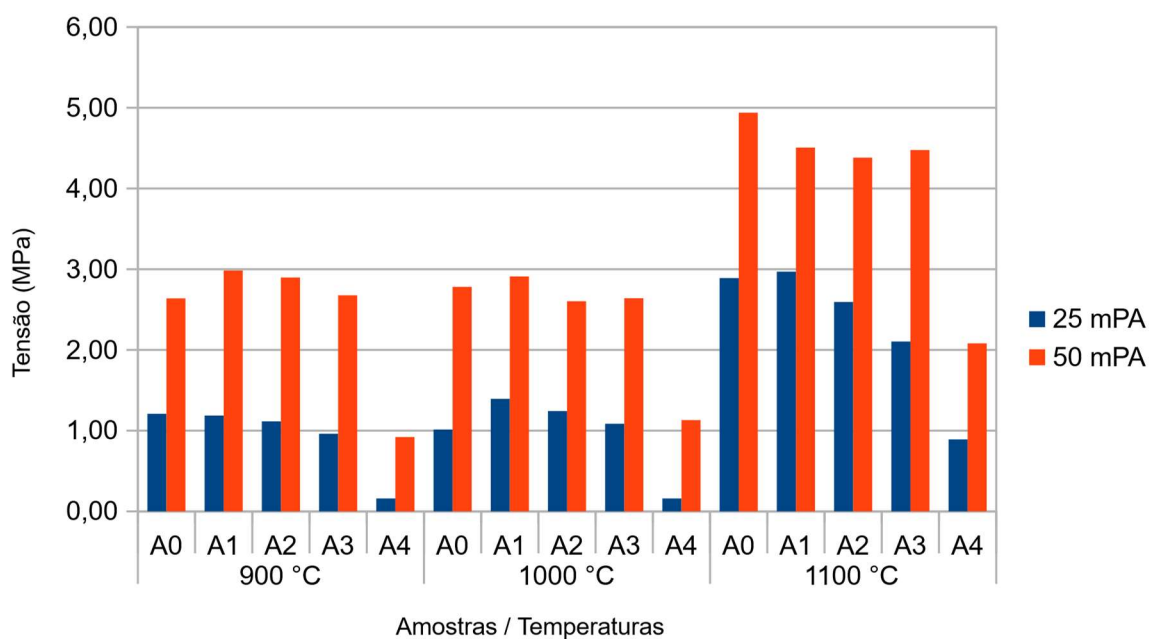
Figura 9 – Resultados médios de absorção de água das amostras.



Fonte: Autoras (2025).

Na análise de tensão de ruptura apresentada pelas amostras percebeu-se uma pequena variação na tensão de ruptura entre as diversas frações de lodo aplicadas, no entanto, como tendência, o aumento percentual de lodo reduziu a resistência mecânica dos corpos cerâmicos enquanto a temperatura de queima colaborou para seu aumento. Foi significativa a redução de tensão de ruptura nas amostras A4, em todas as temperaturas, tanto para conformação na pressão de 25 MPa, quanto para 50 MPa. Evidencia-se pelos resultados a diferença apresentada entre as duas pressões para todas as amostras, sendo sempre menor a tensão de ruptura para a pressão de conformação de 25 MPa, inclusive, para as temperaturas T1 e T2 todas as amostras de I foram menores do que a metade de II. Os resultados dos testes de resistência mecânica de tensão são apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Resultados médios de resistência mecânica das amostras.



Fonte: Autoras (2025).

Foram analisados os elementos críticos presentes no lodo após solubilização das amostras. Os resultados estão na Tabela 10 e o laudo no Anexo D.

Tabela 10 – Resultado dos elementos analisados após solubilização do tijolo.

PARÂMETRO	RESULTADO (mg/L)
Sulfato ¹	1,57
Alumínio ²	0,061
Arsênio ²	0,42
Bário ²	0,02
Cádmio ²	< 0,001
Chumbo ²	< 0,010
Cobre*	< 0,005
Cromo ²	< 0,010
Ferro Total ²	0,08
Manganês ²	0,053
Sódio ²	5,78
Zinco ²	0,01

¹ SMWW 4500-SO4 E

² SMWW 3125 B

Observação: Resultados apontados “menor que” significa que foi inferior ao Limite de Detecção.

Fonte: Autoras (2024), baseado no laudo (ANEXO D) do laboratório contratado.

4.2 Análise e discussão

Estudos publicados abordam o uso de lodo de ETA na composição ou substituição de matéria-prima para a construção civil. O resíduo incorporado à massa como agregado para confecção de materiais cimentícios e cerâmicos, oferece soluções de destinação segura e reduz a demanda pelo recurso natural, assim, diminui o custo de produção. O lodo incorporado não compromete ou melhora as características do produto, no entanto, ele promove benefícios em termos de custo e destinação do lodo (ALQAM *et al.*, 2011). Pesquisa de combinação do lodo com resíduos industriais (MYMRIN *et al.*, 2017), pó de pedra e cimento (DELGADO, 2016), cal e emulsão asfáltica (LUCENA, 2012) e casca de arroz (GERALDO *et al.*, 2017; HEGAZY *et al.*, 2012) para suprir propriedades não atendidas individualmente, apontam a superação do desempenho à resistência, comparado à matéria-prima virgem.

Algumas desvantagens são apresentadas no uso do lodo de ETA como matéria-prima. Na fabricação dos tijolos cerâmicos, o problema é relacionado ao limite de plasticidade, sendo recomendado como constituinte da massa argilosa em quantidade adequada. Anyakora (2013) identificou que a concentração maior de alumina e óxido de ferro, junto ao reduzido teor de sílica, facilitaram o declínio das resistências pela diminuição das formações vítreas, sendo que para a correção necessita a incorporação de outros resíduos com alto teor de sílica. A incorporação do lodo em matriz de concreto é alternativa econômica, tecnicamente viável e vantajosa, porém, conforme as concentrações usadas, há variação nas propriedades do concreto, sendo necessários ensaios para garantia da estabilidade do resíduo.

Oportunidades se apresentam para novos estudos a partir da combinação de lodos de saneamento com outros resíduos industriais, gerando maior eficiência no aproveitamento dos fluxos de materiais, redução da demanda por recursos naturais, menores custos de produção e solução para resíduos com metais pesados, oferecendo produtos para construção civil seguros e de qualidade superior (CASTILHO, PRIM e PIMENTEL, 2011). O consumo de matéria-prima natural, como areia, brita e insumos para a fabricação de cimento, é reduzido com a incorporação do lodo, minimizando o impacto ambiental pela diminuição na extração e redução dos poluentes atmosféricos da produção de cimento. Ainda, contribui para a adoção de alternativas sustentáveis de destinação final deste resíduo da ETA. A ampliação dos estudos é fundamental para a compreensão das alternativas e sua viabilidade.

Quanto à caracterização, o lodo apresenta composição coerente com o coagulante utilizado no processo de tratamento de água. Também a argila apresentou potássio e sódio em baixas concentrações e estes elementos são importantes fundentes na sinterização. Sua baixa concentração pode tornar a temperatura mais elevada e aumentar a porosidade, sem o efeito de fechamento de poros que, se ocorresse, teria um efeito favorável nas propriedades analisadas.

A retração linear em tijolos é um fenômeno comum que ocorre durante o processo de secagem do material, caracterizando-se por uma redução no comprimento do tijolo decorrente da remoção da água contida nele pela evaporação e pelo próprio processo de sinterização. Na etapa de secagem, pode ser minimizada através de um processo

lento e controlado para que a água evapore de forma uniforme, evitando fontes de calor excessivo. A retração linear em tijolos é um processo natural e esperado, mas de forma excessiva, pode comprometer a qualidade do material e causar deformações e rachaduras. Esperava-se, conforme ocorreu, que elevando a temperatura, a retração também fosse aumentada.

A perda de massa na queima dos tijolos convencionais é decorrente principalmente da eliminação da água e da matéria orgânica. As massas cerâmicas com maior teor de argila forte apresentam estabilização na perda de massa em temperaturas mais baixas, enquanto as massas cerâmicas com menor teor de argila forte apresentam estabilização na perda de massa em temperaturas mais elevadas (MAIA, 2019). A perda de massa aumentou conforme o teor de lodo, devido a maior quantidade de matéria orgânica no lodo do que na argila, mantendo a proporção, conforme aumentava a fração.

A absorção de água em tijolos é um parâmetro importante para avaliar a qualidade do material e pode afetar a resistência mecânica, a durabilidade e a aparência dos tijolos, além de influenciar na eficiência energética. É determinada pela quantidade de água que o tijolo é capaz de absorver em relação ao seu peso seco. A absorção é influenciada pela porosidade dos elementos, sendo mais alta para elementos mais porosos (MASSOM, 2016). A absorção de água está diretamente relacionada à microestrutura e determina o nível de porosidade aberta das peças cerâmicas, podendo ocorrer pelos baixos graus de empacotamento dos corpos de prova, pela elevada perda de massa durante a queima e pelo baixo teor de óxidos fundentes. Conforme ABNT NBR 15270-2 (2005), na conformação com 25MPa, apenas na temperatura de 1100 °C as amostras apresentaram absorção de água dentro dos limites estabelecidos pela norma, entre 8 e 22%. Quando avaliada a pressão de conformação de 50 MPa, apenas com a fração de lodo de 20% superou a absorção definida pela norma. Yusuf (2023) concluiu em seu estudo que a adição de lodo de ETA de até 20% não interferiu nos testes de resistência à compressão, porém o resultado quanto à absorção de água ficou acima do preconizado, resultado semelhante ao encontrado nesse trabalho para absorção de água, recomendando-se assim que os tijolos sejam utilizados em paredes internas ou que não estejam diretamente em contato com chuvas.

A resistência mecânica dos tijolos determina a capacidade do material de suportar cargas sem se romper. Ela depende de sua composição e do processo de fabricação. Os tijolos convencionais são feitos de argila e queimados em fornos a altas temperaturas para endurecer e tornarem-se mais resistentes. O resultado da tensão aplicada em um tijolo depende de como a carga é distribuída, sendo que, quanto mais uniforme for, maior será a capacidade da peça suportar a carga, assim o uso influenciará nas tensões que incidirão na peça. Os tijolos são projetados para suportar cargas de compressão, e a tensão na ruptura ocorre quando a carga de compressão é tão grande que o tijolo se quebra. A tensão na ruptura é a força máxima que um tijolo pode suportar antes de falhar. Há diversas formas de testar essa tensão, inclusive empilhando peças, como realizou Corteze (2020). Estudo realizado para incorporação do lodo de ETA na construção civil aponta que a aplicação do resíduo para fabricação de cerâmica convencional foi a mais promissora, possibilitando a adição de até 10% de lodo (CAPISTRANO, 2020), mesma proporção máxima apontada nesse estudo. Silva e Maciel (2019) obtiveram o resultado de proporção entre 5 e 10% adequada para a fabricação de tijolos maciços de categorias C, conforme a NBR 7170 (ABNT, 2017) que define a resistência mínima à compressão. A tensão de ruptura apresentada pelas amostras evidenciou que na fração de 20% de lodo não é possível manter a resistência mecânica para este parâmetro. Para todas as outras amostras, a variação não foi maior do que 1 MPa de tensão. Também pode-se destacar o provável efeito da porosidade na resistência. As amostras com maior absorção de água (e maior porosidade aberta), tendem a apresentar valores menores de resistência, pois os poros tendem a atuar como concentradores de tensão. Essa maior absorção deve estar relacionada com a maior perda de matéria orgânica com a adição do lodo, o que foi corroborado pelos resultados de perda de massa. Assim, as amostras com 20% de lodo (A4) apresentaram os menores valores de resistência. Neste sentido, entende-se que o ponto de corte para o uso do lodo na argila estudada estaria na fração de 10% (A3). Silva e Maciel (2019) mostraram que a adição de até 15% de lodo na argila cumpre aos padrões para a fabricação de tijolos maciços, portanto apontam pela viabilidade do uso do lodo de ETA na massa de argila para a produção de tijolos convencionais. Esse resultado ratifica as conclusões deste estudo, que concluiu em 10%, visto que a próxima fração estudada foi de 20%.

Analisando o ensaio de solubilização, com base na Resolução nº 420 (CONAMA, 2009), que *dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas*, percebe-se que os valores estão abaixo do que poderia ser considerado contaminação, tanto de solo quanto de água subterrânea, exceto os parâmetros de sulfato e sódio, que não são contemplados na resolução. A Resolução nº 396 (CONAMA, 2008), que *dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*, estabelece valores máximos permitidos para sulfato e sódio em 200 e 250 mg/L, respectivamente, assim o resultado pode ser considerado dentro dos limites aceitáveis. Esse resultado é corroborado pela pesquisa de Santos *et al.* (2023) que evidenciou índices abaixo do limite permitido em alumínio por lixiviação, mostrando-se viável o uso de lodo de ETA na produção de tijolos ecológicos, atendendo aos requisitos de qualidade estabelecidos.

Fatores ambientais e sociais são importantes de serem abordados no uso do lodo agregado à argila na confecção de tijolos. A viabilidade econômica é considerada tecnicamente possível e financeiramente promissora. As vantagens econômicas estão relacionadas com a redução de custos com matéria-prima devido à redução de extração do recurso natural e os custos associados; com a eliminação dos custos de descarte, tanto operacionais quanto ambiental, economizando com transporte e taxas de aterro; com incentivos a economia circular, podendo atrair incentivos fiscais e financiamentos; com o potencial para mercado com o uso da classificação de tijolos ecológicos, agregando valor e atraindo consumidores específicos. No entanto, há questões a serem superadas para a disseminação da prática, como a definição da proporção de lodo a ser utilizada; a necessidade de processamento do lodo, com desaguamento e secagem, antes da agregação à massa cerâmica para uso; a necessidade de conformidade normativa, pois é primordial que haja o atendimento das normas definidas para comercialização dos produtos finais; a logística necessária, que pode inviabilizar o uso, pois há uma dependência da ETA estar instalada nas proximidades da fábrica de tijolos para minimizar custos de transporte.

5 CONCLUSÕES

O uso de lodo de ETA para processos produtivos viabiliza o reúso e a reciclagem e evita a destinação final *in natura*, inertizando o material. Este rejeito usado como matéria-prima contribui para a diminuição da extração do recurso natural que está sendo substituído. A redução da geração do próprio resíduo, bem como o tratamento e desaguamento são importantes para todo o ciclo do processo e podem ser abordados em estudos futuros.

A retração linear de queima tem pequena variação até a incorporação de fração de 10%, sendo significativa apenas acima de 20%. Há perda de massa na queima que se mostra significativa apenas na incorporação da fração de 20% de lodo. Os resultados mostraram que os corpos cerâmicos confeccionados apresentam características para uso interno ou sem exposição à umidade ou chuva, sendo que apenas na incorporação da fração de lodo de 20% apresentou resultados muito diferenciados dos outros na mesma temperatura. Quanto a tensão de ruptura, os resultados apresentaram pouca variação até a incorporação da fração de 10% de lodo, tendo a fração de 20% apresentado tensão de ruptura muito baixa em todas as temperaturas e pressão de conformação. Em relação aos resultados dos ensaios de solubilização, fica clara a segurança ambiental, pois os valores são muito menores do que os limites estabelecidos pelas resoluções 420 (CONAMA, 2009) e 396 (CONAMA, 2008). Portanto, a incorporação de lodo em até 10% na massa cerâmica, nas duas pressões de conformação e nas três temperaturas empregadas, não apresentou influência significativa para retração linear, perda de massa, absorção de água e tensão de ruptura das amostras.

A utilização do lodo de ETA em tijolos apresenta uma excelente viabilidade econômica quando integrada a um processo de produção que otimiza a proporção de lodo e considera os benefícios a longo prazo. A economia gerada na aquisição de matéria-prima e no gerenciamento de resíduos supera, em muitos casos, os desafios operacionais, tornando a prática uma solução vantajosa tanto economicamente quanto ambientalmente.

A mudança de abordagem da problemática dos resíduos sólidos produzidos nas Estações de Tratamento de Água é necessária para um destino mais adequado e de melhor qualificação para os resíduos sólidos, bem como, desenvolver o potencial de reaproveitamento e uma postura coerente com princípios de desenvolvimento sustentável. A ampliação dos estudos se faz fundamental para a compreensão das alternativas e sua viabilidade de reaproveitamento desse resíduo. O recurso hídrico é fundamental para as operadoras de saneamento, visto que sua matéria-prima provém dele, assim a destinação adequada do resíduo é fundamental para não comprometer a sua própria atividade. A fiscalização efetiva se faz necessária para que os órgãos não fiquem à mercê de gestores que não estão preocupados com a sustentabilidade econômica, ambiental e social do seu negócio.

5.1 Contribuição do trabalho

Estudos para utilização de rejeitos são fundamentais para a minimização dos impactos que os processos produtivos vêm gerando e afetando nosso ambiente de forma negativa. O uso do lodo de ETA proporcionará menos despejos *in natura*. Os aterros que recebem o lodo desaguado podem utilizar esse espaço para outras destinações, assim utilizado o lodo para fins mais nobres, diminuindo a extração de matéria-prima natural, portanto reduzindo ainda mais o impacto ambiental relacionado ao lodo. A matéria-prima lodo não vem sendo aproveitada adequadamente.

Buscar um ciclo fechado, em que todo o resíduo gerado faça parte de um outro processo produtivo é a forma de termos uma gestão econômica, ambiental e financeira adequada, bem como atreladas às diretrizes da Environmental, Social and Governance (ESG), cuja tradução literal é “Ambiental, Social e Governança” e busca a integração da geração de valor econômico aliado à preocupação com as questões ambientais. Ainda, esse aproveitamento do lodo está em consonância com os objetivos do desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU).

Importante frisar que em meio a sequência de eventos climáticos extremos que afetaram o estado do Rio Grande do Sul, consequências das mudanças climáticas, e

que foram causados pelos anos de agressão ao ambiente natural que os seres humanos provocaram, é preciso agir diferente, pois necessitamos de uma mudança de ação para termos um resultado distinto. O ser humano precisa estar preparado para os extremos climáticos, buscando a resiliência das regiões, porém também precisa respeitar o meio ambiente, buscar soluções baseadas na natureza e priorizar a conservação para amenizar os efeitos das mudanças climáticas.

5.2 Possibilidades de trabalhos futuros

Diversos outros estudos podem ser elaborados com o intuito de avançar na ideia de utilizar o lodo de ETA. Essa pesquisa resultou em dois artigos, um publicado (Anexo E) e outro enviado para publicação (Anexo F) e aceito (Anexo G). Outras pesquisas podem ser realizadas, agregando o material a processos produtivos que não foram citados neste trabalho, bem como, pode-se buscar combinações de materiais para aperfeiçoar as propriedades físicas e mecânicas do tijolo.

Estudos com diferentes proporções de lodo, como avaliar a proporção entre 10 e 20% de lodo na massa cerâmica para obter uma fração exata da linha de corte para não utilização por perda de resultado adequado à norma. Pode-se avaliar outras variáveis e a inclusão de outros materiais para melhorar o rendimento ou o desempenho do material, como Teloekem *et al.* (2011) fizeram ao agregar lodo galvânico a vidro sodocálcico e borossilicato para confecção de cerâmica convencional. Eles obtiveram resultados promissores com a adição de vidro, especialmente de borossilicato, na melhoria das propriedades mecânicas, e demonstraram que a adição crescente do material causou a redução dos metais pesados nos extratos de lixiviado e de solubilizado.

Pesquisas quanto a aceitabilidade do material em mercado seria interessante, bem como a verificação da intenção de uso desse tipo de material sustentável, apesar do custo gerado no produto final.

Avanços na legislação que norteia o reúso do lodo de ETA, pois a Resolução nº 375 (CONAMA, 2006) é restritiva e a falta de norma específica para definir a reutilização e os parâmetros necessários são fundamentais. Assim, pesquisas relacionadas às normativas são fundamentais para o avanço do tema. Buscar a viabilidade econômica de transporte e adequação do rejeito através de subsídios legais é um nicho de estudo no tema.

Estudos com orientação e métodos de implantação de programas de gestão de resíduos com indicadores adequados, mapa de risco e outros instrumentos contribui para o reúso do lodo de ETA e a redução do impacto nos mananciais. O trabalho realizado em relação ao reúso do lodo de ETA deve ser usado para aprimorar a relação socioambiental na localidade onde o resíduo é gerado.

REFERÊNCIAS

ABO-EL-ENEIN, S. A.; SHEBL, A.; ABO EL-DAHAB, S. A. Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal. **Applied Clay Science**, Amsterdã, v. 146, p. 343-349, 2017.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Sustainable management of water treatment sludge through 3R concept. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 124, p. 1-13, 2016.

ALQAM, M.; JAMRAH, A.; DAGHLAS, H. Utilization of cement incorporated with water treatment sludge. **Jordan Journal of Civil Engineering**, Irbid, v. 5, n. 2, p. 268-277, 2011.

ANYAKORA, N. V. Characterization and performance evaluation of water works sludge as bricks material. **International Journal of Engineering and Applied Sciences**, Turquia, v. 3, n. 3, p. 69-79, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7170**: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Solubilização de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos – Blocos e Tijolos para alvenaria. Parte 2: métodos de ensaios – terceira edição. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

BENLALLA, A.; ELMOUSSAOUITI, M.; DAHHOU, M. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science**, Amsterdã, v. 118, p. 171-177, 2015.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012.

BRASIL. **Diagnóstico Temático – Serviços de Água e Esgoto. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento** – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Ministério das Cidades. Brasília. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p. 1. Brasília, DF, 16 de jul. 2020.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p. 127. Brasília, DF, 07 mai. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p 95-96, Brasília, DF, 17 de jul. 2002.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375, de 17 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. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p 141-146. Brasília, DF, de 30 de ago. de 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p 64-68. Brasília, DF, de 07 de abr. de 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p 81-84. Brasília, DF, de 30 de dez. De 2009.

CAPISTRANO JR, I. C. **Utilização do lodo de Estação de Tratamento de Água como insumo na construção civil**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2020.

CASTÃO, E. S.; CASTRO, A. L.; MESQUITA FILHO, A.; ROCHA, G. A.; DOS SANTOS, S. R. Reúso de lodo de estação de tratamento de água na fabricação de tijolos cerâmicos. In: CONGRESSO ABES - FENASAN, 29., 2017, São Paulo. **Anais Eletrônicos ABES**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017. p. 1-10. Trabalho II-533.

CASTILHO JÚNIOR, A. B.; PRIM, E. C. C.; PIMENTEL, F. J. G. Utilização de lodo de ETA e ETE como material alternativo de cobertura de aterro sanitário. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, São Leopoldo, v. 7, n. 2, p. 86-97, 2011.

CASTRO, C. E. **Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA) para Fabricação de Pavimentos Pré-Moldados de Concreto**. 2014. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

CHALHOUB, A. S.; LOURENÇO, E. S. de O.; FILLA, J. C.; JÚNIOR, E. F.; MADALAZZO, I. L. Incorporação do lodo de ETA na fabricação de tijolos. In: II CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 2., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais do ConReSol**. Foz do Iguaçu: IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2019. p. 1-6. Trabalho XII-048.

COELHO, R.; TAHIRA, F.; FERNANDES, F.; FONTENELE, H.; TEIXEIRA, R. Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água na Pavimentação Rodoviária. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 10, n. 2, p. 11-22, 2015.

CORTEZE, L. P.; RIBEIRO, R. B.; SOUZA, A. J. S.; TAGUCHI, S. P. Análise da resistência mecânica de tijolos ecológicos a partir da prototipagem rápida. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.12, p. 94710-94717 dec. 2020.

COSTA, A. G. **Sistemas de abastecimento de água**. Fortaleza: Editora Universidade de Brasília, 2015.

COSTA, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas: estudo de caso na ETA do município de Mirassol/SP**. 2011. Dissertação – Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

COUTO, V. M. P. **Desenvolvimento e caracterização de materiais cerâmicos derivados do processamento dos resíduos de estação de tratamento de água**. 2011. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DELGADO, J. V. C. **Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada**. 2016.

Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos: Ed. Ldibe, 2017.

FREITAS, Y. R. **Estudo do comportamento de argamassas cimentícias e geopoliméricas com a incorporação de resíduo de ETA**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville: 2018.

GASTALDINI, A. L. G.; HENGGEN, M. F.; GASTALDINI, M. C. C. The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition. **Construction and Building Materials**, Edimburgo, v. 94, p. 513-520, 2015.

GERALDO, R. H.; FERNANDES, L. F. R.; CAMARINI, G. Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 149, p. 146-155, 2017.

GODOY, L. G. G. **Otimização das características do lodo de ETA visando a utilização em cimento composto e pozolânico**. 2018. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Nanociência, Processos e Materiais Avançados, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2018.

GUIMARÃES, C. A. O. **Avaliação do ciclo de queima nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha**. 2017. Dissertação – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte-Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2017.

HEGAZY, B. E. E.; FOUAD, H. A.; HASSANAIN, A. M. Brick manufacturing from water treatment sludge and rice husk ash. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Amã, v. 6, n. 3, p. 453–461, 2012.

HENDGES, L. T.; REINHER, R. C. R.; LEICHTWEIS, J.; FERNANDES, E. J.; TONES, A. R. M. **Disposição final de lodo de estação de tratamento de água e de esgoto: uma revisão**. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – SIEPE, X., 2017, Santana do Livramento. **Resumos do SIEPE**. Santana do Livramento: Universidade Federal do Pampa, 2017, p. 1-6.

HUANG, C.; WANG, S. Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate. **Construction and Building Materials**, Edimburgo, v. 43, p.174-183, 2013.

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica**. 2012. Dissertação – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

KIZINIEVIČ, O.; ŠURAUSKIENĖ, R.; KIZINIEVIČ, V. Utilization of sludge waste from water treatment for ceramic products. **Construction and Building Materials**, Edimburgo, v. 41, p. 464-473, 2013.

KRISHNA, B. K. C.; ARYAL, A.; JANSEN, T. Comparative study of ground water treatment plants sludges to remove phosphorous from wastewater. **Journal of Environmental Management**, Londres, v. 180, p. 17-23, 2016.

LUCENA, L. C. **Estudo de Aplicação de Misturas Solo Lodo em Base e Sub-base de Pavimentos**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade de Campina Grande, Recife, 2012.

MAIA, F. A. M.; QUEIROGA, A. F. F.; RANGEL, N. V. P.; RIOS, M. A. S. Análise da qualidade de misturas de argilas para a indústria de cerâmica vermelha. I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade. **Anais CONIMAS**, Campina Grande, PB, 2019.

MARGEM, J. G. **Caracterização e incorporação de lodo de decantação de Estação de Tratamento de Água (ETA) em cerâmica vermelha**. 2008. Dissertação – Laboratório de Materiais Avançados – CCT, Universidade Estadual do Norte-Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goitacazes, 2008.

MARTINEZ, J. G. **Avaliação de Desempenho de Misturas Betuminosas com Adição de lodos de ETA e de ETE**. 2014. Dissertação – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MASSON, A. C.; RENZI, G.; SANTOS, S.; FLORIANI, R. Absorção de água em tijolos. **Revista Maiêutica**, Indaial, v. 2, n. 1, p. 7-24, 2016.

MYMRIN, V.; ALEKSEEV, K.; FORTINI, O. M.; CATAI, R. E.; NEGALLI, A.; RISSARDI, J. L.; MOLINETTI, A.; PEDROSO, D. E.; IZZO, R. L. S. Water cleaning sludge as principal component of composites to enhance mechanical properties of ecologically clean red ceramics. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 145, p. 367-373, 2017.

MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHIN, C. L.; Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs. In.: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 23 **CEBESA**, Campo Grande, MS, 2005.

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**, Oxford, v. 96, p. 272– 281, 2015.

NASCIMENTO, E. S.; DA SILVA, T. A.; DA SILVA, L. L. A utilização do lodo de ETA como insumo em argamassa. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DE ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 76., 2019, Palmas. **Anais do CONTECC**. Palmas: CONTECC, 2019. p. 1-5, ano 6, v. 1. Trabalho III-Civil.

OLIVEIRA, I. Y. Q.; RONDON, O. C. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. **Revista Interações**, Campo Grande, v. 17, n. 4, p. 687-698, 2016.

PAIVA, G. S.; MOREIRA, V. T. G.; SOARES, A. F. S. Lodo de estação de tratamento de água (ETA): resíduo ou insumo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2016, Campina Grande. **Anais do CBGA**. Campina Grande: IBEAS, 2016. p. 1-11. Trabalho IX-032.

PEREIRA, V. E. **Disposição de lodo adensado de ETA em ETE com tratamento primário quimicamente assistido**. 2011. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PINHEIRO, B. C. A., ESTEVÃO, G. M., SOUZA, D. P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha. Parte I: caracterização do lodo. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 204-211, 2014.

POZZOBON, J. C.; LUCAS, J. F. R.; MORA, N. D. **Uso do Lodo de ETA na Fabricação de Cerâmica Artística**. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: Sanepar, 2013. p. 501-538.

RODRIGUES, C. B.; CARNEIRO, A. M. Lodo de ETA como alternativa à argila na indústria cerâmica: Avaliação da qualidade e desafios. **Cerâmica Industrial**, v. 28, 2023.

RODRIGUES, L. P., HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 59, p. 551-556, 2013.

SANTOS, G. Z. B.; MANZATO, L.; MELO FILHO, J. A. Utilização de cinzas de lodo de ETA na síntese de geopolímeros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA, 4., 2016, Manaus. **Anais do SICASA**. Manaus: ANPPAS, 2016. p. 1-11.

SANTOS, F. A.; RIBEIRO, J. M. G.; LAUTENSCHLÄGER, C. E. R.; PIETROBELLI, J. T. A. Estudo de tijolos ecológicos confeccionados com lodo de ETA. In: SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E INOVAÇÃO, 13., 2023, Ponta Grossa. **Anais do SEI-SICIT**. Ponta Grossa: SEI-SICIT 2023. p. 28-33.

SECRETARIA ESTADUAL DE SAÚDE DO RIO GRANDE DOS SUL. Portaria Estadual nº 10, de 16 de agosto de 1999. Define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Poder Executivo, Porto Alegre, RS, 16 ago. 1999.

SILVA, E. L. G.; MACIEL, A. P. Uso de resíduos sólidos de estação de tratamento de água como carga em blocos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 24, p. 29-36, 2019.

SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. 2011. Dissertação – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TANTAWY, M. A. Characterization and pozzolanic properties of calcined alum sludge. **Materials Research Bulletin**, Oxford, v. 61, p. 415-421, 2015.

TARTARI, R.; DÍAZ-MORA, N.; MÓDENES, A. N.; PIANARO, S. A. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 57, p. 288-293, 2011.

TELOEKEN, A. C.; VILLANOVA, D. L.; BASEGIO, T. M.; BERGMANN, C. P. Utilização de Lodo Galvânico como Matéria-prima em Cerâmica Vermelha e Caracterização dos Corpos Cerâmicos Obtidos quanto a Propriedades Tecnológicas e a Imobilização de Metais. **Cerâmica Industrial**, v. 16 (2), p. 14-19, 2011.

YUSUF, H. C. M. Utilização Sustentável de Lodo de ETA na Confecção de Tijolos Maciços. **Ensaio e Ciências**, Belo Horizonte, v. 27, p. 419-422, 2023.

WOLFF, E.; SCHWABE, W.K.; CONCEIÇÃO, S.V. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 96, p. 282-289, 2015.

ANEXO A – Caracterização do Lodo de ETA utilizado.

A caracterização do Lodo foi realizada por laboratório de análises ambientais particular, conforme documento a seguir.



RELATORIO DE ENSAIO

Cod.: 6725.2019_So

Canoas, 06 de fevereiro de 2020

DADOS DO CLIENTE

Cliente: SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS - SEMAE
 Endereço: RUA JOÃO NEVES DA FONTOURA, 811
 CNPJ: 88.368.386/0001-30
 IE: 124/0179925

Cidade: São Leopoldo, Rio Grande do Sul
 CEP: 93.010-050

DADOS DA AMOSTRA E DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Amostra: 6725.2019_So_1_1
 Matriz: Solo
 Endereço Coleta: ETA IMPERATRIZ LEOPOLDINA
 Ponto de Amostragem: ETA IMPERATRIZ LEOPOLDINA-EFLUENTE LODO- DECANTADOR 04
 Data Recebimento: 24/01/2020 17:30:00
 Condições Climáticas: Nublado
 Tipo de Amostra: Solo

Coletor: Cliente
 Data Coleta: 22/01/2020

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Acidez Total	< 2,3	mg/Kg
Alcalinidade Total	629,38	mg/Kg
Alumínio Total	2967,77	mg/Kg
Arsênio Total *	< 0,001	mg/Kg
Bário Total	< 0,5325	mg/Kg
Cádmio Total	< 0,00144	mg/Kg
Chumbo Total	< 0,0049	mg/Kg
Cianeto Total	0,09	mg/Kg
Cobre Total	9,82	mg/Kg
Coliformes Termotolerantes	67400	NMP/100g
Cromo Total	4,0	mg/Kg
Dureza Total	956,89	mg/Kg
Fenóis Totais (Substâncias que reagem com 4-Aminoantipirina)	6,96	mg/Kg
Ferro Total	250,61	mg/Kg
Fluoreto (Flúor)	85,62	mg/Kg
Manganês Total	47,62	mg/Kg
Mercurio Total *	< 0,0001	mg/Kg
Nitrato	125,00	mg/Kg
Óleos e Graxas Minerais	132,56	mg/Kg
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	110,47	mg/Kg
pH**	6,80	-
Prata Total	< 0,0543	mg/Kg
Selênio Total *	< 0,0015	mg/L
Sódio Total	121,18	mg/Kg
Sólidos Dissolvidos Fixos	366,9	mg/Kg
Sólidos Dissolvidos Voláteis	222223,3	mg/Kg

Ordem Serviço nº: 6725/2019

FI 090 Rev.07

Página 1 de 3

Rua Ary Dias Ferreira, 260 • Pq. Ind. Jorge Lanner, Bairro Niterói • 92130-500 Canoas - RS

(51) 3475-5656

hidrobrasil@hidrobrasil.com

www.hidrobrasil.com



RELATORIO DE ENSAIO

Cod.: 6725.2019_So

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Sólidos Sedimentáveis	1000	mL/L
Sólidos Suspensos Fixos	137198,1	mg/Kg
Sólidos Suspensos Voláteis	31005,7	mg/Kg
Sólidos Totais	421083	mg/Kg
Sulfato	1291,10	mg/Kg
Sulfeto de Hidrogênio	28,09	mg/Kg
Surfactantes (substâncias tensoativas que reagem ao azul metileno)	< 0,15	mg/Kg
Umidade	60,92	%
Zinco Total	19,51	mg/Kg

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Acidez Total	2,3	0,7	±2,2	SMWW - Método 2310 B	24/01/2020
Alcalinidade Total	1,63	0,49	±0,7	SMWW - Método 2320 B	27/01/2020
Alumínio Total	0,130	0,040	±0,050	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Arsênio Total	0,001	0,0007	±0,0005	EPA 3050 B e SMWW Method 3120 B	05/02/2020
Bário Total	0,490	0,150	±0,060	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Cádmio Total	0,0010	0,0003	±0,0100	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Chumbo Total	0,0049	0,0010	±0,0200	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Cianeto Total	0,02	0,006	±0,17	PE 101 - KIT Nanocolor Cyanide	30/01/2020
Cobre Total	0,058	0,017	±0,060	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Coliformes Termotolerantes	1	1	[67218;67582]	Instrução Normativa/MAPA n° 62/2003 - ME 4	03/02/2020
Cromo Total	0,029	0,008	±0,030	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Dureza Total	2,38	0,72	±0,60	SMWW - Método 2340 C	27/01/2020
Fenóis Totais (Substâncias que reagem com 4-Aminoantipirina)	0,00182	0,00055	±3,9	SMWW - Método 5330 B, C e D	30/01/2020
Ferro Total	0,260	0,079	±0,078	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Fluoreto (Flúor)	0,15	0,045	±1,33	SMWW, Method 4110 B	30/01/2020
Manganês Total	0,030	0,009	±0,020	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Mercúrio Total	0,0001	0,00008	±0,00005	EPA 3050 B e SMWW Method 2012 C/3120 B	05/02/2020
Nitrato	0,04	0,01	±0,29	SMWW, Method 4110 B	30/01/2020
Óleos e Graxas Minerais	4,86	1,47	±1,6	SMWW - Método 5520 B,F	30/01/2020
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	4,86	1,47	±1,6	SMWW - Método 5520 B,F	30/01/2020
pH	Faixa:0 a 14	-	±0,1	SMWW - Método 4500 H+ B	29/01/2020
Prata Total	0,028	0,008	±0,010	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020
Selênio Total	0,0015	0,005	±0,002	SMWW Method 2012 C/3120 B	05/02/2020
Sódio Total	0,1294	0,04	±0,0014	EPA 3050 B e SMWW Method 3111 A, B e D	31/01/2020
Sólidos Dissolvidos Fixos	24,58	7,45	±5,3	SMWW - Método 2540 C	31/01/2020

Ordem Serviço nº: 6725/2019

FI 090 Rev.07

Página 2 de 3

Rua Ary Dias Ferreira, 260 • Pq. Ind. Jorge Lanner, Bairro Niterói • 92130-500 Canoas - RS

(51) 3475-5656

hidrobrasil@hidrobrasil.com

www.hidrobrasil.com



RELATORIO DE ENSAIO

Cod.: 6725.2019_So

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO					
PARÂMETRO	LQ	LD	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Sólidos Dissolvidos Voláteis	24,58	7,45	±5,3	SMWW - Método 2540 C	31/01/2020
Sólidos Sedimentáveis	1,0	0,30	±5,72	SMWW - Método 2540 F	30/01/2020
Sólidos Suspensos Fixos	5,16	1,56	±2,50	SMWW - Método 2540 D, E	30/01/2020
Sólidos Suspensos Voláteis	5,16	1,56	±2,50	SMWW - Método 2540 D, E	30/01/2020
Sólidos Totais	29,83	9,04	±1,9	SMWW Method 2540 B, E	06/02/2020
Sulfato	0,17	0,05	±1,33	SMWW Method 4110 B	30/01/2020
Sulfeto de Hidrogênio	0,112	0,034	±0,64	SMWW Method 4500-S2D	28/01/2020
Surfactantes (substâncias tensoativas que reagem ao azul metileno)	0,15	0,046	±0,14	SMWW Method 5540 C	24/01/2020
Umidade	-	-	-	Gravimetria	31/01/2020
Zinco Total	0,074	0,020	±0,020	EPA - 3050 B e SMWW - Método 3111 A, B, D	31/01/2020

Nota 01: SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 23ª, 2017.

Nota 02: LQ - Limite de Quantificação

Nota 03: LD - Limite de Detecção

Nota 04: U95% - Incerteza do ensaio com 95% de probabilidade.

Nota 05: O(s) resultados(s) desta(s) análise(s) tem significado restrito e se aplica somente a amostra analisada.

Nota 06: O Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração.

Nota 07: PG 17_Rev.05 (Amostragem), IT 029_Rev.04 (Manual de Amostragem) e PE 090_Rev.04 (Ensaio Realizados na Amostragem). A identificação do plano de amostragem tem o mesmo código do "Protocolo da Amostra".

Nota 08: (*) Serviço Provido Externamente.

Nota 09: (**) Análises realizadas nas instalações do cliente.

Nota 10: 1 CU (Unidade de Cor) = 1 Hz (Unidade de Hazen) = 1 Pt-Co (Unidade de Platino-Cobalto).

Nota 11: A regra de decisão padrão, para declaração de conformidade dos resultados, não considera a incerteza analítica associada ao ensaio.


Verifique a autenticidade deste documento no endereço abaixo ou no QR-Code ao lado.:

<http://hidrolab.glabnet1.com.br/valida.php>

Código: 6725.2019 - Chave de autenticação: 88B-WM7X-F7H




Gustavo Guilherme
CRQ 05202743
Responsável Técnico


Dra. Fernanda do Amarante
Signatária Autorizada


Quim. Michele Beza
Signatária Autorizada
Responsável Técnica

ANEXO B – Caracterização do lodo anterior.

A caracterização do Lodo em ano anterior mostrou resultado semelhante.

RELATORIO DE ENSAIO

Cod.: 4000.2018_So

Canoas, 10 de setembro de 2018

DADOS DO CLIENTE

Cliente: SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS - SEMAE
Endereço: RUA JOÃO NEVES DA FONTOURA, 811
CNPJ: 88.368.386/0001-30
IE: 124/0179925

Cidade: São Leopoldo, Rio Grande do Sul
CEP: 93.010-050

DADOS DA AMOSTRA E DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Amostra: 4000.2018_So_2_1**Coletor:** Cliente**Matriz:** Solo**Data Coleta:** 17/08/2018**Endereço Coleta:** ETA IMPERATRIZ LEOPOLDINA**Ponto de Amostragem:** ETA IMPERATRIZ LEOPOLDINA-EFLUENTE LODO**Data Recebimento:** 28/08/2018 16:55:00**Condições Climáticas:** Ensolarado**Tipo de Amostra:** Solo

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Acidez Total	< 4,16	mg/Kg
Alcalinidade Total	287,76	mg/Kg
Alumínio Total	7138,33	mg/Kg
Arsênio Total *	< 0,001	mg/Kg
Bário Total	15,23	mg/Kg
Cádmio Total	< 0,0005	mg/Kg
Chumbo Total	2,66	mg/Kg
Cianeto Total	< 0,02	mg/Kg
Cobre Total	12,33	mg/Kg
Coliformes Termotolerantes	26	NMP/g
Cromo Total	5,91	mg/Kg
Dureza Total	3018,87	mg/Kg
Fenóis Totais (Substâncias que reagem com 4-Aminoantipirina)	2,39	mg/Kg
Ferro Total	3707,19	mg/Kg
Fluoreto (Flúor)	99,03	mg/Kg
Manganês Total	69,73	mg/Kg
Mercúrio Total *	< 0,0001	mg/Kg
Nitrato	0,0	mg/Kg
Oleos e Graxas Minerais	98,50	mg/Kg
Oleos Vegetais e Gorduras Animais	728,92	mg/Kg
pH	7,78	-
Prata Total	< 0,018	mg/Kg
Selênio Total *	< 0,0015	mg/L
Sódio Total	596,51	mg/Kg
Sólidos Dissolvidos Fixos	26405,9	mg/Kg
Sólidos Dissolvidos Voláteis	6708,4	mg/Kg

RELATORIO DE ENSAIO

Cod.: 4000.2018_So

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
Sólidos Sedimentáveis	1000	mL/L
Sólidos Suspensos Fixos	66018,1	mg/Kg
Sólidos Suspensos Voláteis	17737,6	mg/Kg
Sólidos Totais	116869,0	mg/Kg
Sulfato	14,61	mg/Kg
Sulfeto de Hidrogênio	12,0	mg/Kg
Surfactantes (substâncias tensoativas que reagem ao azul metileno)	0,56	mg/Kg
Umidade	87,84	%
Zinco Total	18,30	mg/Kg

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Acidez Total	4,16	1,29	-	SMWW Method 2310 B	10/09/2018
Alcalinidade Total	1,63	0,49	±0,7	SMWW Method 2320 B	29/08/2018
Alumínio Total	0,145	0,045	-	EPA 3050B/6010C	06/09/2018
Arsênio Total	0,001	0,0007	±0,0005	SMWW Method 3120 B	06/09/2018
Bário Total	0,548	0,40	-	EPA 3050 B/6010C	06/09/2018
Cádmio Total	0,0005	0,0003	±0,0001	EPA 3050B/6010C	06/09/2018
Chumbo Total	0,001	0,001	±0,0004	EPA 3050 B(1996) / 6010 C (2007)	06/09/2018
Cianeto Total	0,02	0,006	±0,17	SMWW Method 4500-CN D	28/08/2018
Cobre Total	0,028	0,009	-	EPA 3050B/6010C	06/09/2018
Coliformes Termotolerantes	1	-	[25;27]	Instrução Normativa/MAPA n° 62/2003 - ME 4	29/08/2018
Cromo Total	0,048	0,015	-	EPA 3050B/6010C	06/09/2018
Dureza Total	3,93	1,19	±2,9	SMWW Method 2340 C	03/09/2018
Fenóis Totais (Substâncias que reagem com 4-Aminoantipirina)	0,06	0,06	-	SMWW Method 5530 B,C,D	10/09/2018
Ferro Total	0,081	0,025	-	EPA 3050B/6010C	06/09/2018
Fluoreto (Flúor)	-	-	-	SMWW, Method 4110 B	10/09/2018
Manganês Total	0,009	0,003	-	EPA 3050B/6010C	06/09/2018
Mercurio Total	0,0001	0,00008	±0,00005	SMWW Method 2012 C/3120 B	06/09/2018
Nitrato	-	-	-	SMWW, Method 4110 B	10/09/2018
Óleos e Graxas Minerais	10	10	-	SMWW Method 5520 B,F	31/08/2018
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	10	10	-	SMWW Method 5520 B,F	31/08/2018
pH	-	-	±0,15	SMWW, Method 4500 H+ B	29/08/2018
Prata Total	0,018	0,006	-	EPA 3050 B/6010 C	06/09/2018
Selênio Total	0,0015	0,005	±0,002	SMWW Method 2012 C/3120 B	06/09/2018
Sódio Total	-	-	-	EPA 3050 B(1996) / 6010 C (2007)	06/09/2018
Sólidos Dissolvidos Fixos	1,0	1,0	-	SMWW 22° edition Method 2540 C	04/09/2018

RELATORIO DE ENSAIO

Cod.: 4000.2018_So

DADOS COMPLEMENTARES DO ENSAIO					
PARÂMETRO	LQ	LD	U95%	MÉTODO	DATA DE REALIZAÇÃO
Sólidos Dissolvidos Voláteis	1,0	1,0	-	SMWW 22ª edition Method 2540 C	04/09/2018
Sólidos Sedimentáveis	1,0	1,0	±14,71	SMWW Method 2540 F	04/09/2018
Sólidos Suspensos Fixos	1,0	1,0	-	SMWW Method 2540 G	31/08/2018
Sólidos Suspensos Voláteis	1,0	1,0	-	SMWW Method 2540 D,E	31/08/2018
Sólidos Totais	1,0	1,0	-	SMWW Method 2540 B,E	31/08/2018
Sulfato	-	-	-	SMWW, Method 4110 B	10/09/2018
Sulfeto de Hidrogênio	0,025	0,008	-	SMWW Method 4500-S2D	05/09/2018
Surfactantes (substâncias tensoativas que reagem ao azul metileno)	0,12	0,04	±8,4	SMWW Method 5540 C	30/08/2018
Umidade	-	-	-	Gravimetria	04/09/2018
Zinco Total	0,018	0,006	-	EPA 3050B/6010C	06/09/2018

Nota 01: SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. 23ª

Nota 02: LQ - Limite de Quantificação

Nota 03: LD - Limite de Detecção

Nota 04: U95% - Incerteza do ensaio com 95% de probabilidade.

Nota 05: O(s) resultados(s) desta(s) análise(s) tem significado restrito e se aplica somente a amostra analisada.

Nota 06: O Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido por completo e sem nenhuma alteração.

Nota 07: Métodos e Plano de Amostragem conforme PG 17_Rev.02, IT 029_Rev.04 e PE 090_Rev.02. A identificação do plano de amostragem tem o mesmo código do "Protocolo da Amostra".

Nota 08: (*) Serviço Subcontradado.

Nota 09: (**) Análises realizadas nas instalações do cliente.

Nota 10: 1 CU(Unidade de Cor) = 1Hz(Unidade de Hazen) = 1Pt-Co(Unidade de Platino-Cobalto).

Verifique a autenticidade deste documento no endereço abaixo ou no QR-Code ao lado.:

<http://hidrolab.glabnet1.com.br/valida.php>

Código: 4000.2018 - Chave de autenticação: 8AL-RCP5-KHD



Gustavo Guilherme
 Gustavo Guilherme
 CRQ 05202743
 Responsável Técnico

Fernanda do Amarante
 Dra. Fernanda do Amarante
 Signatária Autorizada

Michele Beza
 Quim. Michele Beza
 Signatária Autorizada
 Responsável Técnica

ANEXO C – Caracterização da argila utilizada.

A caracterização da argila foi realizada em laboratório da UFRGS, cujo laudo segue.

RELATÓRIO DE ANÁLISE

LAUDO 229-23/01/2023

A Viviane Feijó Machado

Técnica de análise: Espectrometria de fluorescência de raios-X

Resultados obtidos através de análise **quantitativa** com curva de calibração a partir de padrões de rocha tabelados da Geostandards¹. A metodologia de preparo de amostra foi a de pastilha prensada. A análise de elementos maiores foi no método GRP2 (método dos parâmetros fundamentais (FP) com curvas de calibração). A presença de voláteis foi avaliada através de técnicas gravimétricas, expondo 1 g de amostra a 1050 °C por uma hora e está representada por "LOI". Sendo "nd" = não detectado e "<LQ" = abaixo do limite de quantificação da metodologia. O espectrômetro de fluorescência de raios X é o RIX 2000 da marca Rigaku, é um WDS e possui tubo de raios-X de Rh.

Tabela 1: Resultado de elementos maiores % em peso (g/100g)

Amostra	Elemento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
amostra 1	LAB1384	56,87	17,55	1,59	12,43	0,12	1,09	0,73	0,24	1,09	0,49	7,80	100,00
MCR SCO	Valor Tabelado ¹	62,78	13,67	0,63	5,14	0,05	2,72	2,62	0,90	2,77	0,21		
Shale	Média (n=10)	62,64	13,41	0,71	6,03	0,06	3,22	3,16	0,79	3,12	0,23		
	Desvio Padrão (n=9)	0,16	0,15	0,01	0,10	0,00	0,05	0,01	0,03	0,01	0,00		

Porto Alegre, 23 de janeiro de 2023

Centro de Pesquisas em Petrologia e Geoquímica (CPGq)
 Núcleo de Litoquímica e Análises Mineralis

1. GOVINDARAJU K. Compilation of Working Values and Sample Description for 383 Geostandards. *Geostand Newsl.* 1994;18(July):1-158. doi:10.1046/j.1365-2494.1998.53202081.x-i1 1

ANEXO D – Resultado das análises realizadas na solução resultante da solubilização.

A solubilização e a análise da solução para identificação e quantificação dos elementos foi realizada por laboratório de análises ambientais particular, conforme segue.

**LAUDO DE ANÁLISES****Nº: 1681/24 - A**

Processo Comercial OR Nº 0436/24

REDE METROLOGICA
RS
LABORATÓRIO RECONHECIDO SEGUNDO
A NORMA ABNT NBR ISO/IEC 17025

DADOS DO SOLICITANTE

NOME	VIVIANE FEJÓ MACHADO	CNPJ	781.686.270-91
ENDEREÇO	Avenida São Borja, 909, 801d, 401 - Rio Branco - São Leopoldo/RS - CEP 93032-000		

DADOS DA AMOSTRA

NOME	VIVIANE FEJÓ MACHADO	CNPJ	781.686.270-91
ENDEREÇO	Avenida São Borja, 909, 801d, 401 - Rio Branco - São Leopoldo/RS - CEP 93032-000		
IDENTIFICAÇÃO:	SOLUBILIZADO - LODO DE DECANTADOR		
ENTRADA NO LABORATÓRIO:	24/05/2024	PERÍODO DE ANÁLISE:	24/05/2024 a 02/07/2024

DADOS DA AMOSTRAGEM

Responsável:	O Interessado	Data:	24/05/2024
--------------	---------------	-------	------------

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parâmetro	Resultado	Unidade	Metodologia	LQ/ Faixa	Data de Análise	F1	F2
Dureza	37,7	mg CaCO ₃ /L	SMWW 2340 C - Titulométrico EDTA	3,73	18/06/2024 17:20	-	-
pH	7,60	UpH	SMWW 4500-H+ B.	0,01	20/06/2024 10:52	-	-
Sulfato	1,57	mg SO ₄ ⁻² /L	SMWW 4500-SO4 E.	0,58	17/06/2024 17:46	-	-

Legenda

LD: Limite de Detecção do Método
LQ: Limite de Quantificação
Virt.Aus.: Virtualmente Ausente

ND: Não detectado
NR: Não realizado
NA: Não Aplicável

VMP: Valor máximo permitido pela legislação
VMP-: Parâmetro não avaliado pela legislação
IM: Incerteza de medição
*/ ** / *** / **** Análises terceirizadas

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

EPA: Environmental Protection Agency - United States of America.

ROLAS: Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

F1 (Flag 1): Análises marcadas com "X" na coluna F1 indicam análise realizada fora do prazo do parâmetro e/ou condições de preservação, podendo apresentar desvios que comprometam os resultados, devendo ser avaliadas com estas ressalvas.

F2 (Flag 2): Análises marcadas com "X" na coluna F2 indicam análise realizada com a amostra sendo recebida de forma inapropriada, tanto em relação a preservação, incluindo temperatura de transporte, como ao seu conteúdo, tendo sido autorizada pelo interessado. Portanto, os resultados analíticos podem possuir desvios que comprometam os mesmos, devendo ser avaliados com esta ressalva.

Observações

Notas: (1) O plano de amostragem encontra-se no FM 178/33 - Ficha de Coleta sendo vinculado ao orçamento e amostra acima descritos e segue a IT 160/08 - Amostragem. (2) Formulário: FM 100/09 - Laudo de Análises. (3) Análises realizadas na sede do laboratório. (4) Análises de campo realizadas no local da amostragem. (5) Análises com asteriscos são realizadas em laboratório externo. (6) A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão.

Código de Segurança: 3915629FB408D316A2D19629EA0011D8



Rua João Neves da Fontoura, 117
93010 050 São Leopoldo RS
+55 51 35892597 +55 51 3589 2598
www.iqalaboratorios.com.br

CCLAAM FEPAM Nº 23/2023

Pág. 01 de 02



LAUDO DE ANÁLISES

Nº: 1681/24 - A

Processo Comercial OR Nº 0436/24



Os resultados contidos neste Laudo tem significação restrita e aplicam-se somente ao material analisado, só podendo ser reproduzido na íntegra. O IQA Laboratórios garante a realização dos ensaios dentro do prazo de validade de cada parâmetro sempre que a amostragem tenha sido de sua responsabilidade. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, não conformidades percebidas no recebimento das amostras são informadas, para definição sobre a continuidade do processo analítico. Os resultados aplicam-se à amostra conforme recebida, quando o laboratório não é o responsável pela amostragem. A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão. A amostragem, a preservação das amostras e a metodologia analítica seguem diretrizes das versões atuais do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e NBRs.

São Leopoldo, 02 de julho de 2024.

Liberado eletronicamente por:

Jacqueline Passuello de Freitas
CRQ V Nº 05200681
Responsável Técnica

Notas: (1) O plano de amostragem encontra-se no FM 178/33 - Ficha de Coleta sendo vinculado ao orçamento e amostra acima descritos e segue a IT 160/08 - Amostragem. (2) Formulário: FM 100/09 - Laudo de Análises. (3) Análises realizadas na sede do laboratório. (4) Análises de campo realizadas no local da amostragem. (5) Análises com asteriscos são realizadas em laboratório externo. (6) A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão.

Código de Segurança: 3915629FB408D316A2D19629EA0011D8



Rua João Neves da Fontoura, 117
 93010 050 São Leopoldo RS
 +55 51 35892597 +55 51 3589 2598
 www.iqalaboratorios.com.br

CCLAAM FEPAM Nº 23/2023

Pág. 02 de 02



LAUDO DE ANÁLISES

Nº: 1681/24 - B

Processo Comercial OR Nº 0436/24

DADOS DO SOLICITANTE

NOME	VIVIANE FEJÓ MACHADO	CNPJ	781.686.270-91
ENDEREÇO	Avenida São Borja, 909, 801d, 401 - Rio Branco - São Leopoldo/RS - CEP 93032-000		

DADOS DA AMOSTRA

NOME	VIVIANE FEJÓ MACHADO	CNPJ	781.686.270-91
ENDEREÇO	Avenida São Borja, 909, 801d, 401 - Rio Branco - São Leopoldo/RS - CEP 93032-000		
IDENTIFICAÇÃO	SOLUBILIZADO - LODO DE DECANTADOR		
ENTRADA NO LABORATÓRIO	24/05/2024	PERÍODO DE ANÁLISE	24/05/2024 a 02/07/2024

DADOS DA AMOSTRAGEM

Responsável:	O Interessado	Data:	24/05/2024
--------------	---------------	-------	------------

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parâmetro	Resultado	Unidade	Metodologia	LQ/ Faixa	Data de Análise	F1	F2
Alumínio **	0,061	mg Al/L	SMWW 3125 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Arsênio**	0,42	mg As/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:40	-	-
Bário**	0,02	mg Ba/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Cádmio **	< 0,001	mg Cd/L	SMWW 3125 B.	0,001	02/07/2024 21:41	-	-
Chumbo**	< 0,010	mg Pb/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Cobre*	< 0,005	mg Cu/L	SMWW 3120 B	0,005	02/07/2024 21:42	-	-
Cromo **	< 0,010	mg Cr/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Ferro Total**	0,08	mg Fe/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:42	-	-
Manganês**	0,053	mg Mn/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:42	-	-
Sódio**	5,78	mg/L	SMWW 3120 B	0,500	02/07/2024 21:42	-	-
Zinco**	0,01	mg Zn/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:42	-	-

** Análise realizada no laboratório Bioagri Ambiental Ltda, Certificado FEPAM Nº 0012/2021. Certificado INMETRO CRL 0172

Notas: (1) O plano de amostragem encontra-se no FM 178/33 - Ficha de Coleta sendo vinculado ao orçamento e amostra acima descritos e segue a IT 160/08 - Amostragem. (2) Formulário: FM 100/09 - Laudo de Análises. (3) Análises realizadas na sede do laboratório. (4) Análises de campo realizadas no local da amostragem. (5) Análises com asteriscos são realizadas em laboratório externo. (6) A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão.

Código de Segurança: 3915629FB408D316A2D19629EA0011D8



Rua João Neves da Fontoura, 117
93010 050 São Leopoldo RS
+55 51 35892597 +55 51 3589 2598
www.iqalaboratorios.com.br

CCLAAM FEPAM Nº 23/2023

Pág. 01 de 02



LAUDO DE ANÁLISES

Nº: 1681/24 - B

Processo Comercial OR Nº 0436/24

Legenda

LD: Limite de Detecção do Método	ND: Não detectado	VMP: Valor máximo permitido pela legislação
LQ: Limite de Quantificação	NR: Não realizado	VMP -: Parâmetro não avaliado pela legislação
Virt.Aus.: Virtualmente Ausente	NA: Não Aplicável	IM: Incerteza de medição
		* / ** / *** / **** Análises terceirizadas

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

EPA: Environmental Protection Agency - United States of America.

ROLAS: Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

F1 (Flag 1): Análises marcadas com "X" na coluna F1 indicam análise realizada fora do prazo do parâmetro e/ou condições de preservação, podendo apresentar desvios que comprometam os resultados, devendo ser avaliadas com estas ressalvas.

F2 (Flag 2): Análises marcadas com "X" na coluna F2 indicam análise realizada com a amostra sendo recebida de forma inadequada, tanto em relação a preservação, incluindo temperatura de transporte, como ao seu conteúdo, tendo sido autorizada pelo interessado. Portanto, os resultados analíticos podem possuir desvios que comprometam os mesmos, devendo ser avaliados com esta ressalva.

Observações

Os resultados contidos neste Laudo tem significação restrita e aplicam-se somente ao material analisado, só podendo ser reproduzido na íntegra. O IQA Laboratórios garante a realização dos ensaios dentro do prazo de validade de cada parâmetro sempre que a amostragem tenha sido de sua responsabilidade. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, não conformidades percebidas no recebimento das amostras são informadas, para definição sobre a continuidade do processo analítico. Os resultados aplicam-se à amostra conforme recebida, quando o laboratório não é o responsável pela amostragem. A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão. A amostragem, a preservação das amostras e a metodologia analítica seguem diretrizes das versões atuais do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e NBRs.

São Leopoldo, 02 de julho de 2024.

Liberado eletronicamente por:

Jacqueline Passuello de Freitas
CRQ V Nº 05200681
Responsável Técnica

Notas: (1) O plano de amostragem encontra-se no FM 178/33 - Ficha de Coleta sendo vinculado ao orçamento e amostra acima descritos e segue a IT 160/08 - Amostragem. (2) Formulário: FM 100/09 - Laudo de Análises. (3) Análises realizadas na sede do laboratório. (4) Análises de campo realizadas no local da amostragem. (5) Análises com asteriscos são realizadas em laboratório externo. (6) A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão.

Código de Segurança: 3915629FB408D316A2D19629EA0011D8



Rua João Neves da Fontoura, 117
93010 050 São Leopoldo RS
+55 51 35892597 +55 51 3589 2598
www.iqalaboratorios.com.br

CCLAAM FEPAM Nº 23/2023

Pág. 02 de 02



RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 1681/24

Processo Comercial OR Nº 0436/24

DADOS DO SOLICITANTE

NOME	VIVIANE FEJÓ MACHADO	CNPJ	781.686.270-91
ENDEREÇO	Avenida São Borja, 909, 801d, 401 - Rio Branco - São Leopoldo/RS - CEP 93032-000		

DADOS DA AMOSTRA

NOME	VIVIANE FEJÓ MACHADO	CNPJ	781.686.270-91
ENDEREÇO	Avenida São Borja, 909, 801d, 401 - Rio Branco - São Leopoldo/RS - CEP 93032-000		
IDENTIFICAÇÃO:	SOLUBILIZADO - LODO DE DECANTADOR		
ENTRADA NO LABORATÓRIO:	24/05/2024	PERÍODO DE ANÁLISE:	24/05/2024 a 02/07/2024

DADOS DA AMOSTRAGEM

Responsável:	O Interessado	Data:	24/05/2024
--------------	---------------	-------	------------

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parâmetro	Resultado	Unidade	Metodologia	LQ/ Faixa	Data de Análise	F1	F2
Dureza	37,7	mg CaCO ₃ /L	SMWW 2340 C - Titulométrico EDTA	3,73	18/06/2024 17:20	-	-
pH	7,60	UpH	SMWW 4500-H+ B.	0,01	20/06/2024 10:52	-	-
Sulfato	1,57	mg SO ₄ ⁻² /L	SMWW 4500-SO4 E.	0,58	17/06/2024 17:46	-	-
Alumínio **	0,061	mg Al/L	SMWW 3125 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Arsênio**	0,42	mg As/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:40	-	-
Bário**	0,02	mg Ba/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Cádmio **	< 0,001	mg Cd/L	SMWW 3125 B.	0,001	02/07/2024 21:41	-	-
Chumbo**	< 0,010	mg Pb/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Cobre*	< 0,005	mg Cu/L	SMWW 3120 B	0,005	02/07/2024 21:42	-	-
Cromo **	< 0,010	mg Cr/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:41	-	-
Ferro Total**	0,08	mg Fe/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:42	-	-
Manganês**	0,053	mg Mn/L	SMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:42	-	-
Sódio**	5,78	mg/L	SMWW 3120 B	0,500	02/07/2024	-	-

Notas: (1) O plano de amostragem encontra-se no FM 178/33 - Ficha de Coleta sendo vinculado ao orçamento e amostra acima descritos e segue a IT 160/08 - Amostragem. (2) Formulário: FM 100/09 - Laudo de Análises. (3) Análises realizadas na sede do laboratório. (4) Análises de campo realizadas no local da amostragem. (5) Análises com asteriscos são realizadas em laboratório externo. (6) A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão.

Código de Segurança: 3915629FB408D316A2D19629EA0011D8



Rua João Neves da Fontoura, 117
93010 050 São Leopoldo RS
+55 51 35892597 +55 51 3589 2598
www.iqalaboratorios.com.br

CCLAAM FEPAM Nº 23/2023

Pág. 01 de 02



RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 1681/24

Processo Comercial OR Nº 0436/24

RESULTADOS ANALÍTICOS							
Parâmetro	Resultado	Unidade	Metodologia	LQ/ Faixa	Data de Análise	F1	F2
Zinco**	0,01	mg Zn/L	SMMWW 3120 B	0,01	02/07/2024 21:42	-	-

** Análise realizada no laboratório Bioagri Ambiental Ltda, Certificado FEPAM Nº 0012/2021. Certificado INMETRO CRL 0172

Legenda		
LD: Limite de Detecção do Método	ND: Não detectado	VMP: Valor máximo permitido pela legislação
LQ: Limite de Quantificação	NR: Não realizado	VMP -: Parâmetro não avaliado pela legislação
Virt.Aus.: Virtualmente Ausente	NA: Não Aplicável	IM: Incerteza de medição
		* / ** / *** / **** Análises terceirizadas
SMMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.		
EPA: Environmental Protection Agency - United States of America.		
ROLAS: Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.		
F1 (Flag 1): Análises marcadas com "X" na coluna F1 indicam análise realizada fora do prazo do parâmetro e/ou condições de preservação, podendo apresentar desvios que comprometam os resultados, devendo ser avaliadas com estas ressalvas.		
F2 (Flag 2): Análises marcadas com "X" na coluna F2 indicam análise realizada com a amostra sendo recebida de forma inapropriada, tanto em relação a preservação, incluindo temperatura de transporte, como ao seu conteúdo, tendo sido autorizada pelo interessado. Portanto, os resultados analíticos podem possuir desvios que comprometam os mesmos, devendo ser avaliados com esta ressalva.		

Observações

Os resultados contidos neste Laudo tem significação restrita e aplicam-se somente ao material analisado, só podendo ser reproduzido na íntegra. O IQA Laboratórios garante a realização dos ensaios dentro do prazo de validade de cada parâmetro sempre que a amostragem tenha sido de sua responsabilidade. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, não conformidades percebidas no recebimento das amostras são informadas, para definição sobre a continuidade do processo analítico. Os resultados aplicam-se à amostra conforme recebida, quando o laboratório não é o responsável pela amostragem. A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão. A amostragem, a preservação das amostras e a metodologia analítica seguem diretrizes das versões atuais do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e NBRs.

São Leopoldo, 02 de julho de 2024.

Liberado eletronicamente por:

Jacqueline Passuello de Freitas
CRQ V Nº 05200681
Responsável Técnica

Notas: (1) O plano de amostragem encontra-se no FM 178/33 - Ficha de Coleta sendo vinculado ao orçamento e amostra acima descritos e segue a IT 160/08 - Amostragem. (2) Formulário: FM 100/09 - Laudo de Análises. (3) Análises realizadas na sede do laboratório. (4) Análises de campo realizadas no local da amostragem. (5) Análises com asteriscos são realizadas em laboratório externo. (6) A Incerteza de Medição não foi utilizada como critério de decisão.

Código de Segurança: 3915629FB408D316A2D19629EA0011D8



Rua João Neves da Fontoura, 117
93010 050 São Leopoldo RS
+55 51 35892597 +55 51 3589 2598
www.iqalaboratorios.com.br

CCLAAM FEPAM Nº 23/2023

Pág. 02 de 02

ANEXO E – Artigo publicado: Lodo de Estação de Tratamento de Água: destinação e reciclagem.

O artigo foi publicado na Revista Liberato, CAPES (2013-2016): Qualis C – Área de Avaliação: Engenharia – ISSN 1518-8043.

Lodo de Estação de Tratamento de Água: destinação e reciclagem¹

Sludge from Water Treatment Stations: destination and recycling

Viviane Feijó Machado²
Daniela Lupinacci Villanova³

Resumo

O levantamento bibliográfico do uso do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) para diversos destinos, desde matéria-prima para processos produtivos, impedindo a disponibilização no meio ambiente, até a disposição adequada, para evitar contaminação de solos e corpos hídricos, foi compilado neste artigo. As bases de dados *Scopus* e *Web of Science* foram utilizadas, buscando artigos, para realizar bibliometria com *RStudio* e *Bibliometrix* e, com o *Science Mapping*, definição daqueles de maior relevância. Autores que publicaram trabalhos no Brasil e no exterior são apresentados, estudando proporções adequadas para cada uso e associação a outros resíduos, para correções de propriedades que se mostraram inadequadas. Estudos são abordados, para a construção civil e indústria de cerâmica, entre outros. Ao final, apresentou-se uma discussão sobre o uso do lodo de ETA, conforme estudos citados, e considerações sobre o tema foram apresentadas.

Palavras-chave: lodo; reuso; destinação.

Abstract

The bibliographic survey on the use of sludge from the Water Treatment Plant (WTP) for various destinations, from raw material for production processes, preventing its availability in the environment, to the adequate disposal to avoid contamination of soils and water bodies, was compiled in this article. The Scopus and Web of Science databases were used, searching for articles, to perform bibliometry with RStudio and Bibliometrix, and, with Science Mapping, to define those of greatest relevance. Authors who have published works in Brazil and abroad are presented, studying adequate proportions for each use and association with other residues for corrections of properties that proved to be inadequate. Studies are addressed, for the civil construction and ceramic industry, among others. At the end, a discussion on the use of WTP sludge was presented, according to the studies cited, and considerations on the subject were pointed out.

Keywords: inclusive education, pedagogical support center, pedagogical consulting.

1 Resumo da dissertação de Viviane Feijó Machado no Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais (MPTEM) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Farroupilha, RS, Brasil, com defesa em 07.2022, sob orientação da Prof. Dra. Daniela Lupinacci Villanova.

2 Mestranda Tecnologia e Engenharia de Materiais pelo IFRS, especialista em Qualidade e Meio Ambiente pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, RS, engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Porto Alegre, RS e bióloga pela PUCRS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0538-0826>. E-mail: vivi.fm@tche.com

3 Doutora e mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), engenheira mecânica pela UFRGS e professora no IFRS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3145-1456>. E-mail: daniela.villanoa@farroupilha.ifrs.edu.br
Artigo recebido em 09.03.2022 e aceito em 29.06.2022.



ANEXO F – Artigo a ser publicado: Lodo de ETA como insumo na fabricação de tijolos convencionais.

O artigo foi aceito para publicação na Revista Afluente, CAPES (2017-2020):
Qualis B1 – Área de Avaliação: Engenharias – ISSN 2594-732X.

LODO DE ETA COMO INSUMO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CONVENCIONAIS

Viviane Feijó Machado⁽¹⁾

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Farroupilha, Bióloga (1997) e Especialista em Qualidade e Meio Ambiente (1999) pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia (2013) pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Daniela Lupinacci Villanova⁽²⁾

Doutora (2004) e mestra (1999) em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade do Rio Grande do Sul, Engenheira Mecânica (1996) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e professora e orientadora do curso de Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Farroupilha, RS, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Av. São Borja, 909, Rio Branco, São Leopoldo, RS - CEP: 93.048-395 - Brasil - Tel: +55 (51) 99281-7393 - e-mail: vivi.fm@tche.com.

RESUMO

O processo de tratamento de água convencional utiliza etapas básicas para transformar a água bruta em água potável. Na etapa de decantação é gerado grande volume de lodo com alta variabilidade e contendo diversas partículas que causam cor e turbidez à água. A destinação adequada do lodo produzido é essencial, pois tanto quanto se busca a universalização da distribuição de água potável, tanto maior será o volume do rejeito. O reaproveitamento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em outra atividade ou processo produtivo é fundamental para destinação adequada, pois geralmente ele é disponibilizado *in natura* nos cursos d'água impactando negativamente. A indústria cerâmica apresenta-se como uma forma de inertizar quaisquer materiais presentes no lodo através da incorporação deles nas peças conformadas. O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de lodo de ETA na argila para fabricação de tijolos convencionais e verificar o comportamento das amostras nas diferentes proporções, temperaturas e pressões de confecção. O trabalho foi desenvolvido com o lodo de uma ETA e a argila de uma olaria de São Leopoldo, RS. Foram confeccionados 60 corpos de prova com cada uma das proporções de argila/lodo: 100/0; 97,5/2,5; 95/5; 90/10; 80/20. Utilizou-se para metade deles a pressão de compactação de 25 MPa e para a outra metade de 50 MPa na conformação dos tijolos. Cada 10 corpos de prova de cada quantidade de incorporação de lodo e de cada pressão utilizada foram queimados a 900, 1000 e 1100 °C. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos e apontam que até a incorporação de fração de 10% de lodo na massa cerâmica é possível a utilização dos tijolos convencionais confeccionados para uso interno ou sem exposição à umidade ou chuva. São apresentadas recomendações para sustentabilidade econômica, ambiental e social do processo produtivo de tratamento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA; Lodo de decantador de ETA; Lodo insumo para tijolos; Agregado de argila e lodo.

INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água convencional utiliza etapas básicas para transformar a água bruta em água potável, que são: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. São utilizados produtos químicos como agentes coagulantes, adsorventes de substâncias orgânicas, alcalinizantes, oxidantes e compostos de flúor (DI BERNARDO et al., 2017). São produzidos 17,1 bilhões de m³/ano de água potável.

Na etapa de decantação é gerado grande volume de lodo com alta variabilidade e contendo diversas partículas que causam cor e turbidez à água. A cor pode ser resultado da presença de compostos húmicos e de minerais precipitados da água bruta e outros compostos, como hidróxidos de alumínio e ferro, oriundos dos produtos químicos utilizados para a coagulação (KATAYAMA, 2012). A destinação adequada do lodo produzido é essencial, pois tanto quanto se busca a universalização da distribuição de água potável, tanto maior será o volume do rejeito. O reaproveitamento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em outra atividade ou processo

ANEXO G – Aceite para publicação na Revista Afluente.


Segue aceite da revista para publicação.

Ofício ABES/RS nº 32/2025

Porto Alegre, 23 de junho de 2025.

Prezadas
Viviane Feijó Machado e Daniela Lupinacci Villanova,

O Conselho editor da Revista Afluente informa que o trabalho enviado, "**LODO DE ETA COMO INSUMO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CONVENCIONAIS**", foi aceito e será publicado na 15ª edição da Revista Afluente, que estará disponível no segundo semestre de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **ANELISE NARDI HUFFNER**
Data: 23/06/2025 18:22:04-0300
verifique em <https://rs10dar.itd.gov.br>

Anelise Nardi Hüffner
Conselho Editor- Revista Afluente



Paulo Robinson da Silva Samuel
Conselho Editor- Revista Afluente