

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
3º Mtec-PI Química**

**ESTUDO DO LODO DA ETA E SUA APLICAÇÃO NA FABRICAÇÃO
DE LADRILHOS DE CERÂMICA APLICANDO OS PRINCÍPIOS DE
ECONOMIA CIRCULAR.**

**LÍVIA DENARDI BEZERRA
LUMA DUTRA ZANARDO
MARIANA GUIMARÃES DAS VIRGENS**

**LIMEIRA, SP
2024**

Lívia Denardi Bezerra
Luma Dutra Zanardo
Mariana Guimarães das Virgens

**ESTUDO DO LODO DA ETA E SUA APLICAÇÃO NA FABRICAÇÃO
DE LADRILHOS DE CERÂMICA APLICANDO OS PRINCÍPIOS DE
ECONOMIA CIRCULAR.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso Técnico em Química
da Etec Trajano Camargo orientado pela
Prof. Dr. Gislaine Ap. Barana Delbianco,
como requisito parcial para obtenção do
título em Técnico em Química.

LIMEIRA, SP
2024

Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus, que nos conduziu até aqui nos dando a força necessária para encerrar mais um ciclo. Aos familiares, pelo apoio constante e motivação para prosseguir. Aos amigos que alegraram nossos dias, recompondo nossas esperanças. Aos professores do técnico que nos auxiliaram no projeto. A todos que também contribuíram de alguma forma para a realização deste TCC, dedicamos o mais sincero agradecimento.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar a mais profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradecemos primeiramente a Deus, fonte de toda sabedoria e força, que nos guiou em cada passo desta jornada, nos concedendo paciência, coragem e discernimento.

Aos nossos familiares, pela presença constante, apoio incondicional e amor inabalável. Cada um de vocês foi fundamental para que chegássemos até aqui, oferecendo sempre motivação e compreensão, nos momentos de dificuldade e nas alegrias de cada conquista.

Ao Prof. Carlos, coordenador do curso de cerâmica, do SENAI Manoel José Ferreira, Rio Claro – SP, por todo o apoio técnico, profissional e ao diálogo esclarecedor, sua ajuda foi fundamental na execução de algumas etapas importantes na fabricação das peças cerâmicas.

Ao nosso coorientador Prof. Dr. Jacob, pela compreensão, disponibilização do laboratório incontáveis vezes e por sempre estar disposto a nos auxiliar com o que fosse necessário.

Ao Prof. Dr. Sérgio, nosso sincero agradecimento pelos alertas importantes que ajudaram a evitar erros, a melhorar a qualidade do protótipo e os processos do trabalho. À nossa orientadora Prof. Dr. Gislaine, por sua tese, que foi uma grande referência para o embasamento da pesquisa e pelo suporte para contatar o SENAI, BRK e a Cerâmica.

À Cerâmica Embramaco, Cordeirópolis-SP, que doou dois pacotes de argila (branca e vermelha) para o desenvolvimento dos corpos de prova. Agradecemos também ao Luciano, da BRK, Limeira - SP, pela atenção e auxílio, especialmente nos guiando em visita técnica, pelos dados obtidos e a doação do lodo da ETA.

Ao Fabiano Zanardo, pai da Luma, que com gentileza e criatividade ajudou com a prensa improvisada, facilitando um dos desafios logísticos dessa jornada.

A todos os amigos, pelo suporte emocional, nossa eterna gratidão por acreditarem em nossa capacidade.

“Devemos acreditar que somos talentosos para algumas coisas, e que essa coisa, a qualquer custo, deve ser alcançada.”

- Marie Curie

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas da Estação de Tratamento de Água.....	13
Figura 2. Sinterização da cerâmica durante a queima.....	14
Figura 3: Destinação do Lodo Gerado nas ETAs.....	23
Figura 4. Fluxograma de atividades experimentais.....	27
Figura 5. Prensa Improvisada.....	28
Figura 6. Aspecto do Lodo Seco.....	31
Figura 7. Primeira Formulação.....	32
Figuras 8 e 9. Segunda Formulação: Corpos de Prova Recém Feitos.....	32
Figuras 10, 11 e 12. Sinterização dos Corpos de Prova e Peças Após a Sinterização.....	33
Figuras 13. pH do lodo.....	33
Figura 14, 15 e 16. Condutividade das amostras.....	34
Figura 17 e 18. Cone de Imhoff Para as Argilas e Lodo.....	35
Figuras 19 e 20. Absorção de Água.....	36
Figura 21. Absorção de Óleo.....	37
Figuras 22 e 23. Aplicação de Produto de Limpeza Forte com HCl.....	38
Figuras 24 e 25. Peças Após o Teste de Ataque Químico.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formulação dos Corpos de Prova.....	28
Tabela 2. Resultado dos testes da tese de doutorado da Dr ^a . Prof ^a Gislaine Ap. Barana Delbianco.....	30
Tabela 3. Formulação Antiga dos Corpos de Prova.....	31
Tabela 4. Valores de pH.....	34
Tabela 5. Valores de Condutividade.....	34
Tabela 6. Resultados Matemáticos.....	35
Tabela 7. Porcentagem da Absorção de Água.....	36
Tabela 8. Absorção de Óleo (g).....	37
Tabela 9. Resistência.....	39

RESUMO

O lodo das Estações de Tratamento de Água (ETA) é um resíduo que causa impactos ambientais quando descartado inadequadamente. Este estudo propôs transformar o lodo em matéria-prima para cerâmica, buscando reduzir resíduos e custos de descarte. A pesquisa misturou o lodo com argilas branca e vermelha, produzindo corpos cerâmicos que foram submetidos a testes físico-químicos para avaliar sua viabilidade. Os resultados indicaram que as peças produzidas com lodo apresentaram alta absorção de água e baixa resistência mecânica, classificando-se nas categorias BIIb e BIII. Essas peças são adequadas para revestimentos de parede, mas não para áreas sujeitas a manchas ou produtos de limpeza agressivos, devido à sua baixa resistência. A pesquisa mostra que o uso do lodo na cerâmica pode ser uma solução sustentável, desde que as propriedades do material sejam adequadas para cada aplicação.

Palavras-chave: lodo; ETA; argila; cerâmica; classificação.

ABSTRACT

Water treatment plant (WTP) sludge is a waste product that causes environmental impacts when disposed inappropriately. This study set out to transform sludge into a raw material for ceramics, with the aim of reducing waste and disposal costs. The research mixed the sludge with white and red clays, producing ceramic bodies that were subjected to physical and chemical tests to assess their viability. The results showed that the pieces produced with sludge had high water absorption and low mechanical strength, falling into categories BIIb and BIII. These tiles are appropriate for wall coverings, but not for areas subject to stains or aggressive cleaning products, due to their low resistance. The research shows that the use of sludge in ceramics can be a sustainable solution, as long as the material's properties are suitable for each application.

Key-words: sludge; WTP; clay; ceramics; classification.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivos Gerais.....	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 Funcionamento da ETA	13
3.2 Cerâmica e Ladrilho	14
3.2.1 Diferença Entre Cerâmica e Ladrilho	14
3.3 Classificação Das Cerâmicas.....	17
3.3.1 Cerâmica de massa vermelha.....	17
3.3.2 Cerâmica de massa branca.....	18
3.3.3 Materiais de revestimento (placas cerâmicas).....	18
3.3.4 Diferença de piso e porcelanato.....	18
3.4 Tipos De Lodo	19
3.5 Caracterização Básica Do Lodo.....	19
3.6 Causas no Meio Ambiente e no Corpo Social	20
3.7 Destinação	22
3.8 Quantidade de Resíduo Gerado.....	23
3.9 Indústria Cerâmica Brasileira.....	23
3.10 Legislação do Lodo da ETA e da Cerâmica	24
4 METODOLOGIA	27
4.1 Coleta e Armazenamento das Matérias Primas	27
4.2 Homogeneização dos Grãos e Elaboração dos Corpos De Prova	27
4.3 Sinterização das Peças Cerâmicas de Massa Branca E Vermelha	28
4.4 Ensaio Físico-Químicos de acordo com NBR 13 818/97	29
4.5 Classificação de acordo com a NBR 13817/97.....	30
5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS	31
5.1 Coleta e Armazenamento das Matérias – Primas	31
5.4 Ensaio Físico-Químicos de acordo com NBR 13818/97	33
5.5 Classificação de acordo com a NBR 13817/97.....	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O lodo é a denominação dada para todo material sedimentado removido do fundo de decantadores. Sendo assim, o lodo é um sedimento formado por uma mistura de substâncias que possuem minerais, partículas provenientes de matéria orgânica decomposta no meio aquoso e coloides (SUPERBAC BIO TECHNOLOGY SOLUTIONS, 2022). A destinação inadequada dos resíduos gerados pela Estação de Tratamento de Água (ETA) gera impactos ambientais negativos, como: poluição do solo e da água, que por sua vez, acarretam problemas para a fauna, a flora e ao corpo social. Eles também podem levar a enormes perdas financeiras na forma de multas e danos (SILVA, 2005).

A produção de ladrilhos hidráulicos no Brasil na data de meados do século XIX, em função da falta de desenvolvimento da técnica de produção, os produtos passaram a perder espaço para os revestimentos cerâmicos (CAMPOS *et al*, *apud* SCIELO 2011). A cerâmica, ela tem fabricação mais mecanizada, leva argila vermelha ou branca, é cozida, resistente e impermeável, pois recebe aplicação de camada vítrea, o que também lhe confere brilho (JÚNIOR, 2024).

A fabricação da cerâmica consiste na moldagem da argila hidratada, que logo após, é posta em uma lenta secagem a sombra. A fim de eliminar a água do material, para em sequência o submeter a altas temperaturas. O que proporciona rigidez e resistência a cerâmica. Tal fato faz com que o material seja apropriado para o armazenamento de grãos ou líquidos. A cerâmica pode ser uma atividade artística, na qual são produzidos artefatos de valor estético, como utensílios de cozinha e objetos de decoração (CONSULTORIA JR, 2024).

A argila possui em sua composição química, vários elementos. Dentre eles: Sílica (SiO_2); Alumina (Al_2O_3); Óxido férrico (Fe_2O_3); Cal (CaO); Magnésia (MgO); Alcalis (Na_2O e K_2O); Anidrido carbônico (CO_2); Anidrido sulfúrico (SO_2) (SILVA, 2024). A argila vermelha, na sua composição química, tem maior teor de óxido de ferro que a branca, isso faz com que a base fique vermelha. A argila plástica tem em sua composição argilominerais e outros minerais não argilosos, como feldspato, micas, quartzo e matéria orgânica. Na argila fundente sua composição tem uma mistura de argilominerais com uma proporção variada de quartzo e outros minerais não plásticos, e nela tem a presença de óxidos fundentes (SILVA, 2024).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Transformar o resíduo da Estação de Tratamento de Água em matéria-prima para peças cerâmicas que serão elaboradas.

2.2 Objetivos Específicos

- Reduzir a quantidade de lodo enviado para aterros sanitários, bem como reduzir os custos de disposição final;
- Encontrar formas de reduzir e reutilizar o lodo, reduzindo assim o custo do descarte de resíduos;
- Reduzir o volume, já que não é possível extinguir a matéria completamente;
- Estudar as propriedades do lodo e a argila separadamente;
- Estudar o comportamento e as propriedades do lodo em contato com a argila vermelha;
- Desenvolver fluxogramas metodológicos;
- Desenvolver gráficos analíticos das etapas e conclusão.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

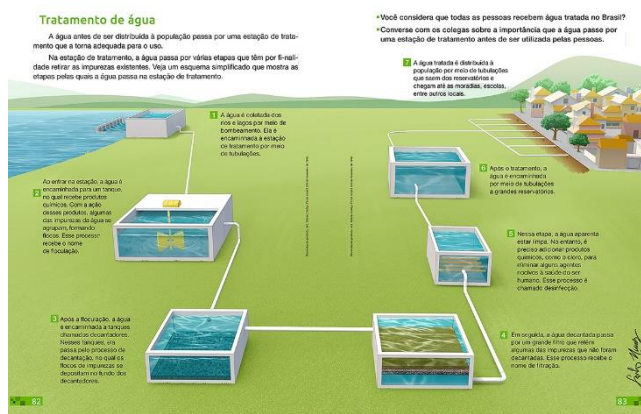
3.1 Funcionamento da ETA

Uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é um local onde a água captada de uma fonte superficial ou subterrânea é tratada e purificada para torná-la potável, ou seja, própria para consumo humano, ou para torná-la própria para uso industrial (BATISTIC, 2022).

A estação compacta de tratamento de água é um dispositivo que garante os padrões de água potável para consumo de acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. O processo de purificação é realizado por decantação dos flocos, seguido de dupla filtração com carvão ativado e depósitos de antracito (ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA, 2023).

O sistema opera através de um painel de controle que controla as bombas dosadoras de produtos químicos, ajusta automaticamente o pH da entrada do processo e os sensores de nível acionam automaticamente as moto-bombas para dispensar água no processo de tratamento de água, figura 1 (ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA, 2023).

Figura 1. Etapas da Estação de Tratamento de Água.



Fonte: Nunes (2020).

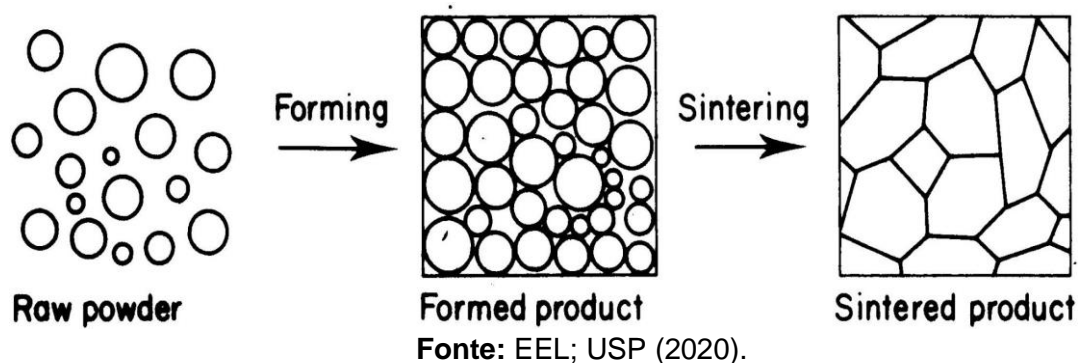
Já o tratamento de esgoto tem como objetivo limpar toda a água (efluente) antes que ela seja devolvida à natureza. A água despejada pelas indústrias e domicílios é, portanto, tratada nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) antes de ser lançada em algum corpo hídrico (córrego ou rio). Isso evita maiores danos ao meio

ambiente e à saúde. Cada método usado no tratamento vai depender muito do nível de poluição, bem como dos aspectos físicos, químicos e biológicos da água e efluentes que chegam para tratamento (CBH, 2023).

3.2 Cerâmica e Ladrilho

Cerâmicas são materiais inorgânicos, não-metálicos, obtidos geralmente por tratamento térmico em temperaturas elevadas, partindo de matérias-primas na forma de pó. Ela compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas (USP, 2020).

Figura 2. Sinterização da cerâmica durante a queima.



Os materiais cerâmicos apresentam alto ponto de fusão, são geralmente isolantes elétricos, embora possam existir materiais cerâmicos semicondutores, condutores e até mesmo supercondutores. Geralmente são quimicamente estáveis sob condições ambientais severas. Em sua maioria, os materiais cerâmicos são duros e frágeis (USP, 2024).

3.2.1 Diferença Entre Cerâmica e Ladrilho

3.2.1.1 Visual

Visualmente, ambas as peças podem ser confeccionadas em diferentes cores e modelos. Mas a principal distinção entre elas é que as cerâmicas ou azulejos têm acabamento brilhante, com uma camada vítrea, o que torna sua superfície impermeável. Outra possibilidade visual é o uso de rejunte colorido para dar um charme extra na sua aplicação (JÚNIOR, 2023).

Já o ladrilho hidráulico é uma peça rústica e porosa, sem brilho, mas de alta resistência. Conta com uma vasta possibilidade de cores e desenhos, o que permite inúmeras combinações decorativas (JÚNIOR, 2023).

3.2.1.2 Fabricação

O ladrilho hidráulico e a cerâmica possuem processos de fabricação distintos. O ladrilho hidráulico é produzido de forma artesanal, com cimento e corantes, comprimido em prensas, e não recebe queima, o que lhe confere uma aparência rústica e uma estrutura porosa que exige impermeabilização para evitar manchas. Já a cerâmica é fabricada de maneira mais mecanizada, utilizando argila que é cozida e recebe uma camada vítrea, tornando-a impermeável e brilhante. Além disso, a cerâmica oferece uma grande variedade de cores, modelos e técnicas de envelhecimento, podendo até imitar o visual do ladrilho hidráulico, sendo amplamente utilizada no Brasil desde a época colonial (JÚNIOR, 2023).

3.2.1.3 Manutenção

A manutenção dos ladrilhos hidráulicos envolve a aplicação semanal de cera líquida incolor com rodo e pano úmido, para preservar o brilho e proteger a resina. A limpeza deve ser feita com água e sabão neutro, evitando o uso de produtos químicos como água sanitária, álcool ou ácido muriático. Por serem artesanais, os ladrilhos hidráulicos podem apresentar pequenas imperfeições ou variações nas cores, características que são naturais do processo de fabricação e que conferem ao material seu charme e valor, diferenciando-o dos revestimentos industrializados (PIAGGE, 2024).

Outro fator importante na hora de decidir sobre o melhor revestimento para o seu espaço é o da manutenção. Afinal, todo mundo procura peças práticas, que gerem pouco trabalho e baixo custo. Nesse sentido, a manutenção da cerâmica é quase zero, já que sua camada vítrea protege o revestimento e possibilita que seja lavado, sem perda de brilho ou possibilidade de riscos (JÚNIOR, 2023).

Já o ladrilho hidráulico exige a aplicação de uma resina acrílica para evitar manchas e fazer com que ele não absorva água, devido à sua porosidade. E, para

que fique sempre bonito, é preciso fazer uma manutenção com cera incolor a cada 15 dias (JÚNIOR, 2023).

3.2.1.4 Onde usar

Presentes na história da humanidade, os materiais cerâmicos são a base da construção civil. Desde as primeiras edificações, feitas a partir da mistura de areia, barro e argila, a cerâmica vem revelando cada vez mais seu potencial e importância para a humanidade. O material utilizado por nossos antepassados ainda se mostra fundamental nos dias atuais, principalmente devido a suas diferentes aplicações e propriedades (CRUZ, 2022).

Com sua característica impermeável, as cerâmicas são bastante requisitadas para cômodos mais úmidos, como cozinhas, áreas de serviço e banheiros — pois ajudam a proteger as paredes da umidade. Os ladrilhos, por sua resistência, podem ser usados para revestir pisos, paredes e áreas externas — molhadas ou secas. No entanto, vale lembrar que, para a decoração de paredes, a versão deve ter espessura de 1,5 cm, enquanto que os empregados em pisos precisam ter 2 cm. Além disso, ladrilhos também podem ser aplicados para formar painéis decorativos e mosaicos, em uma outra possibilidade decorativa (JÚNIOR, 2023).

Além disso, para os projetos arquitetônicos voltados à sustentabilidade, os materiais cerâmicos se destacam como a melhor escolha, desempenhando um papel essencial na execução do planejamento. "A cerâmica vermelha é uma das opções mais sustentáveis, pois tem baixo impacto ambiental e, dependendo do processo produtivo utilizado, pode até reduzir ainda mais esse impacto, compensando a pegada de carbono gerada por outros setores", afirma o arquiteto. Ele também ressalta que a cerâmica é um material 100% reciclável, e seu ciclo de reaproveitamento ocorre de forma muito eficiente. Mesmo após a conclusão da obra, caso algum produto se quebre, ele pode ser reintegrado ao processo de produção e transformado novamente em cerâmica (CRUZ, 2022).

3.2.1.5 Como usar

Além de seu uso mais comum como revestimento de pisos e paredes, as cerâmicas, principalmente as coloridas, podem ganhar função extra ao revestir bancadas e mesas e ainda serem montadas em formato de mosaicos, dando charme adicional à sua decoração (JÚNIOR, 2023).

O ladrilho hidráulico também tem uso em paredes e pisos, em áreas molhadas ou secas, como jardins, salas, cozinhas e banheiros. Porém, por ser mais espesso que a cerâmica, esse aspecto deve ser considerado na hora de sua aplicação. Você pode empregá-lo em determinada área do chão e fazer uma espécie de tapete, em cantos para dar um efeito rodapé. Ainda vai bem em paredes, onde pode virar um mosaico ou mural em cozinhas, lavabos ou locais de lazer (JÚNIOR, 2023).

3.2.1.6 Instalação

A instalação da cerâmica é mais simples, mas requer uso de rejunte, pois ela sofre dilatação e necessita desse “espaço”. No entanto, dependendo do uso decorativo dela, o rejunte pode ganhar cor e ser um elemento extra na sua composição. Já a colocação de ladrilhos deve ser feita por pessoas habilitadas, porque eles, por serem artesanais, contêm diferenças na espessura, necessitando de um bom nivelamento com argamassa colante. Além de se atentar à espessura dos ladrilhos para a sua instalação, lembrando — 1,5 cm para paredes, 2 cm para pisos, o contrapiso precisa ser impermeabilizado a fim de evitar manchas, devido à umidade do solo (JÚNIOR, 2023).

3.3 Classificação Das Cerâmicas

3.3.1 Cerâmica de massa vermelha

Compreende aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno (USP, *apud* ABC 2020).

3.3.2 Cerâmica de massa branca

Este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada de vidro transparente e incolor e que eram assim agrupados pela cor branca da massa, necessária por razões estéticas e/ou técnicas (USP, *apud* ABC 2020).

3.3.3 Materiais de revestimento (placas cerâmicas)

São aqueles materiais, na forma de placas usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas - ambientes internos e externos, como: Azulejos, pisos, porcelanato e lajotas (USP, *apud* ABC 2020).

As cerâmicas por terem características impermeáveis são bastante requisitadas para cômodos mais úmidos, como cozinhas, áreas de serviço e banheiros, pois ajudam a proteger as paredes da umidade. Os ladrilhos, por sua resistência, podem ser usados para revestir pisos, paredes e áreas externas molhadas ou secas (JUNIOR, 2024).

3.3.4 Diferença de piso e porcelanato

A grande diferença entre o porcelanato e o piso cerâmico é o processo de fabricação e os componentes de cada um deles. O piso cerâmico é fabricado utilizando o processo de via seca, em sua formulação de massa entra apenas um tipo de argila que durante o processo de fabricação é acrescido da cobertura de esmaltes e decoração que é o que vemos quando o produto está assentado (ROX CERÂMICA, 2016).

O porcelanato é produzido com o método de via úmida, sua massa é composta por uma mistura de argilas nobres e minerais. As coberturas e decorações possuem geralmente as mesmas propriedades e formas de aplicação (ROX CERÂMICA, 2016).

O principal fator de decisão é a preferência pessoal e o tipo de ambiente onde o revestimento será aplicado, afinal cada decoração precisa de materiais que sejam compatíveis com ela (ROX CERÂMICA, 2016).

3.4 Tipos De Lodo

O Lodo Primário é também chamado de lodo bruto, este é o material formado, geralmente, por sólidos sedimentáveis. Esse tipo de lodo é retirado de decantadores primários. (SUPERBAC BIO TECHNOLOGY SOLUTIONS, 2022).

Lodo secundário ou biológico: após o uso de reatores biológicos, ocorre a formação de lodo com características orgânicas oriundo de processos que ocorreram nas lagoas de sedimentação ou nos decantadores. Há possibilidade de presença de material mineral em sua composição (MULTIAGUA, 2024).

Lodo físico químico: como o nome já sugere, esse tipo de lodo é formado durante o tratamento físico químico da água. Neste ponto, produtos químicos como floculantes e coagulantes são os responsáveis pela formação do mesmo (MULTIAGUA, 2024).

3.5 Caracterização Básica Do Lodo

As características dos lodos das ETAs são distintas, pois são influenciados diretamente pelas características da água bruta captada e também dos produtos químicos utilizados, assim como a forma que é realizada a limpeza nos decantadores. A ETA apresenta ao final do seu processo de tratamento um lodo de características não newtonianas, de grande volume e que em estado de repouso apresenta aspecto gelatinoso e ligeiramente líquido quando agitado. O lodo originado nos decantadores após limpeza manual apresentam uma alta densidade sólida e os provenientes de decantadores com fluxo contínuo de lodo e das águas de filtragem apresentam um nível menor de concentração de sólidos (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012 COSTA, 2020).

A NBR 10004, classifica os resíduos em sólido e semissólido, desta definição estão englobados os lodos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, do qual o resíduo da ETA é classificado como classe II A- não inerte, ou seja, que não pode ser desaguado nos rios sem o devido tratamento (ABNT, 2004).

Segundo Richter (2009) os lodos apresentam valores relativos de até 4% de teor sólidos, de 75 a 90% de sólidos suspensos e de 20 a 35% de compostos voláteis, também apresentam hidróxidos de metais dos coagulantes utilizados. Também são

encontrados sais diversos, cianobactérias e microrganismos, substâncias orgânicas e inorgânicas (FONOLLOSA *et al.*, 2015).

Os sais de alumínio e de ferro são substâncias inorgânicas e não biodegradáveis utilizadas no tratamento da água. Os sais de ferro são os agentes coagulantes reagindo na forma de neutralizante das polaridades dos colóides, favorecendo a formação dos hidróxidos de ferro não solúveis. Os mais utilizados são o sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico, das quais os hidróxidos desses elementos químicos se precipitam produzindo resíduos, sendo este uma das principais apreensões das estações de tratamento que buscam melhorar o processo e minimizar a quantidade de resíduos (KLOC; LAIRD, 2017).

3.6 Causas no Meio Ambiente e no Corpo Social

A descarga de lodo com altos teores de alumínio no corpo receptor causa toxicidade do meio aquático. A carga orgânica contida no lodo pode contribuir para o consumo de oxigênio no corpo d'água, levando a condições anaeróbias, produção de maus odores e mortandade de peixes e algas, além de afetar a camada bentônica. Desta forma, os lançamentos destes efluentes contribuem para aumentar a degradação dos corpos d'água e desrespeitam a DN conjunta COPAM/CERH nº 01 (MINAS GERAIS, 2008) e a Lei de Crimes Ambientais nº 9.605 (BRASIL, 1998).

Confúcio Moura destacou, em seu requerimento, que "a meta legal define o ano de 2033 como limítrofe para alcance da universalização dos serviços, garantindo 99% da população com acesso à água potável e pelo menos 91% com acesso ao tratamento e à coleta de esgoto", 100 milhões de brasileiros estão sem acesso à coleta de esgoto e cerca de 35 milhões sem água tratada (AGÊNCIA SENADO, 2023).

A necessidade por água potável advinda do crescimento populacional e econômico dos centros urbanos, aumenta a produção das estações de tratamento de água (ETA) e, conseqüentemente, aumenta a geração de lodo de ETA, que é um resíduo sólido de classe II A. Apesar da legislação brasileira ser rigorosa, o descarte incorreto deste resíduo no meio ambiente é uma prática comum, que causa grandes impactos ambientais (MORSELLI, 2021).

A geração do resíduo foi estimada, e foram avaliados seus potenciais de reciclagem, como sua aplicação em solos e incorporação na fabricação de materiais

para a construção civil. A partir das caracterizações, avaliou-se a possibilidade de uso do lodo de ETA em solos degradados, como adsorvente de metais pesados, em solos agricultáveis, como fertilizante, e como camada de cobertura ou camada impermeabilizante de aterros sanitários (MORSELLI, 2021).

Pesquisas e trabalhos científicos demonstram os riscos e comprovam o impacto ambiental que a disposição inadequada de lodo gerados em ETAs pode causar no meio ambiente. Assim, há necessidade de uma gestão adequada para estes resíduos, que podem representar volume apreciável em relação ao volume de água tratado (ACHON *et. al.*, 2013).

De acordo com Messias (2013), as alterações físico-químicas ocasionadas pelo despejo do lodo de ETA, além de contribuir para a degradação das águas e dos sedimentos, também prejudicam a biota aquática, diminuindo processos fotossintéticos, ocasionando obstrução das brânquias e causando a mortandade de organismos mais sensíveis (FRANCO, 2019).

Este resíduo também pode afetar o ciclo dos nutrientes, como o do fósforo, ao introduzir grandes quantidades de metais tóxicos no meio aquático, induzindo o surgimento de condições anaeróbias em águas mais lentas, além de aumentar as chances de contaminação dos lençóis freáticos (OLINGER *et al.*, 2001; DIBERNARDO; DANTAS, 2005; REIS *et al.*, 2007). Seu descarte inadequado pode levar também a um aumento da concentração de alumínio, em decorrência do uso de $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante, o qual, além de não ser biodegradável, e então se acumular no ambiente, pode oferecer riscos à saúde humana, principalmente associados com o aparecimento de casos de Alzheimer, quando utilizado acima do limite permitido (Mclachlan, 1995; FRANCO, 2019).

No Brasil, a maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) foi implantada antes da Lei 9.433/1997, Lei 9.605/1998 e Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 237/1997 que exige o licenciamento ambiental das atividades potencialmente poluidoras. Portanto, raramente o sistema de destinação e disposição do final do lodo gerado nas ETAs era contemplado nos projetos das estações, sendo atualmente exigência legal para novos projetos e ampliações (ACHON; CORDEIRO, 2015).

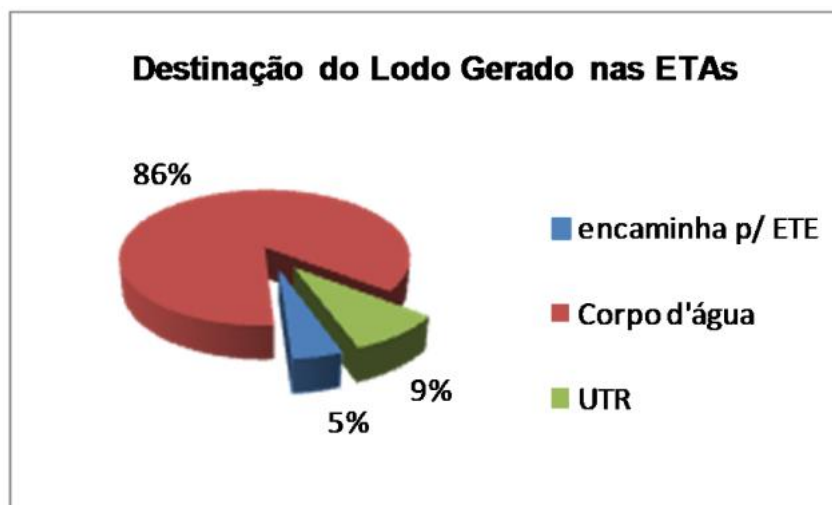
3.7 Destinação

O lodo gerado em ETA é um resíduo e sua destinação deve ser compatível com as diretrizes da Lei 12.305/2010. Neste âmbito deve ser priorizada a redução, reuso e reciclagem. Em contrapartida, o lodo não é um rejeito e não deveria ser disposto em aterro, como é comum observar nas ETAs que possuem algum tipo de sistema de desaguamento para este resíduo. A Lei 12305/2010 considera o reuso e reciclagem como prioridades na gestão de resíduos, apesar disso, nota-se que o uso-benéfico não é adotado em nenhuma das 22 ETA's analisadas nesta pesquisa (ACHON; CORDEIRO, 2015).

O lodo de ETA descartado sem tratamento prévio no corpo d'água que o recebe pode levar ao aumento da turbidez e de sólidos suspensos, aumento da concentração de metais, diminuição do oxigênio dissolvido, assoreamento dos corpos receptores, alteração da cor, entre outros, podendo causar impactos severos no ambiente (HOPPEN *et al.*, 2006; OLINGER *et al.*, 2001; DI BERNARDO; DANTAS, 2005; REIS *et al.*, 2007; FRANCO, 2019).

Todavia essa prática tem sido questionada pelos órgãos ambientais devido aos possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática. Estima-se que a produção de lodos de ETAs nos municípios operados pela Sabesp, no Estado de São Paulo seja de aproximadamente 90 toneladas por dia, em base seca (IWAKI, 2018).

Em relação à destinação do lodo gerado nas 22 ETAs, a Figura 3 ilustra que 86% das ETAs lançam o lodo sem tratamento nos corpos d'água, 9% destinam o lodo para Unidade de Tratamento de resíduos (UTR) e uma ETA, que representa 5%, encaminha o lodo para uma das ETEs do município, que possui sistema mecânico de desaguamento por centrífuga (ACHON; CORDEIRO, 2015).

Figura 3: Destinação do Lodo Gerado nas ETAs

Fonte: ACHON; CORDEIRO (2015).

Ressalta-se ainda que, 86% das ETAs da Sub-bacia considerada dispõem o lodo sem tratamento em corpos d'água, desrespeitando a legislação ambiental vigente (Lei 9.433/97 e 9.605/1998) (ACHON; CORDEIRO, 2015).

3.8 Quantidade de Resíduo Gerado

Estima-se que entre 60.000 e 100.000 toneladas desse resíduo seco sejam geradas anualmente, que sempre acaba em aterros sanitários onde se torna inutilizável quando misturado a outros resíduos sólidos despejados no mesmo local, o que acarreta altos custos ambientais e descarte barato sem possibilidade de reaproveitamento. No entanto, o estudo mostrou que, embora não contenham concentrações significativas de nutrientes, os ETA após secagem e ajuste do pH apresentam propriedades favoráveis para solos arenosos e para seu uso como substrato para mudas (BETEMPS, 2022).

3.9 Indústria Cerâmica Brasileira

O Brasil é um importante player no mercado global de revestimentos cerâmicos, ocupando o terceiro lugar em produção e consumo, e o sexto em exportações, com vendas para mais de 110 países (CERAMICS OF BRAZIL, 2024).

As exportações brasileiras de revestimentos cerâmicos totalizaram 88,6 milhões de metros quadrados em 2023, o que equivale a uma receita de US\$ 392 milhões. Os 10 principais destinos incluíram Estados Unidos, Paraguai, Argentina, Uruguai, Bolívia, Chile, República Dominicana, Colômbia, Jamaica e Honduras. A produção nacional de revestimentos cerâmicos atingiu 792,9 milhões de metros quadrados (CERAMICS OF BRAZIL, 2024).

O setor cerâmico brasileiro conta com 80 unidades fabris, concentradas em três principais polos regionais: os estados de São Paulo e Santa Catarina, e a região Nordeste do país. Gera milhares de empregos, incluindo 50 mil empregos diretos e 200 mil indiretos (CERAMICS OF BRAZIL, 2024).

3.10 Legislação do Lodo da ETA e da Cerâmica

A aplicação da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que define a política ambiental nacional, tem um aspecto legal, mas há outros problemas relacionados à destinação correta dos resíduos. Artigo e objetivos desta política, em particular em termos de uso racional e disponibilidade permanente dos recursos ambientais (SILVA, 2005).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, diante da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, alterada parcialmente pela Resolução 410/2009 e 430/2011, estabeleceu critérios sobre a classificação dos corpos de água superficiais e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes (SILVA, 2005).

A Lei 12.305/2010 define resíduos e rejeitos, sendo o primeiro passível de ser reutilizado e reciclado. O lodo de ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a garantir as premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei 12.305/2010) Segundo a Lei 12.305/2010, Art. 3º, inciso VIII, o aterro é uma forma de disposição ambientalmente adequada para os rejeitos e não para resíduos, como é o caso do lodo de ETA (ACHON; CORDEIRO, 2015).

A recente Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei 12.305/2010 conceitua e deferência resíduos e rejeitos. Em seu art. 3º define:

XV - Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos

disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada; XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Segundo Art. 9º da PNRS uma das diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos prevê que “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (ACHON; CORDEIRO, 2015).

Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais: os empreendimentos das classes 3, 4, 5 e 6 da indústria de cerâmica vermelha devem apresentar informações periódicas a respeito dos resíduos gerados na atividade, conforme disposto nas DN COPAM nº 90/2005 e nº 136/2009 (NUNES; RESENDE, 2013).

Estabelecer os critérios específicos para o Programa de Avaliação da Conformidade para Placas Cerâmicas para Revestimento e para Porcelanatos, com foco na conformidade, atendendo aos requisitos das normas ABNT NBR ISO 10545 e ABNT NBR ISO 13006. (PORTARIA INMETRO, 2021).

Para a junta atender bem a suas diversas finalidades, consideramos essa uma boa indicação. No entanto a prescrição que vale é a do fabricante das placas cerâmicas. A propósito, há hoje no mercado, placas para parede, de grandes dimensões (até 60 cm ou mais) que vêm retificadas para uso sem qualquer junta de assentamento. Um detalhe: Para ambientes externos, as citadas normas antigas NBR 8214 e NBR 9817, prescrevem o um por cento do lado maior da placa acrescido de um milímetro. Trata sede preocupação certamente derivada do famoso “mito da EPU”, que não tem mais qualquer sentido (CERÂMICA INDUSTRIAL, 2000).

No Brasil, a Norma Brasileira (NBR) nº 1.0004 de 2004 trata sobre a classificação dos resíduos sólidos, no qual classifica os tipos de resíduos em quatro Classes (I, II, IIA e IIB). Nesta NBR, é possível verificar a classificação do lodo em função da fonte poluidora (LERVOLINO, 2021).

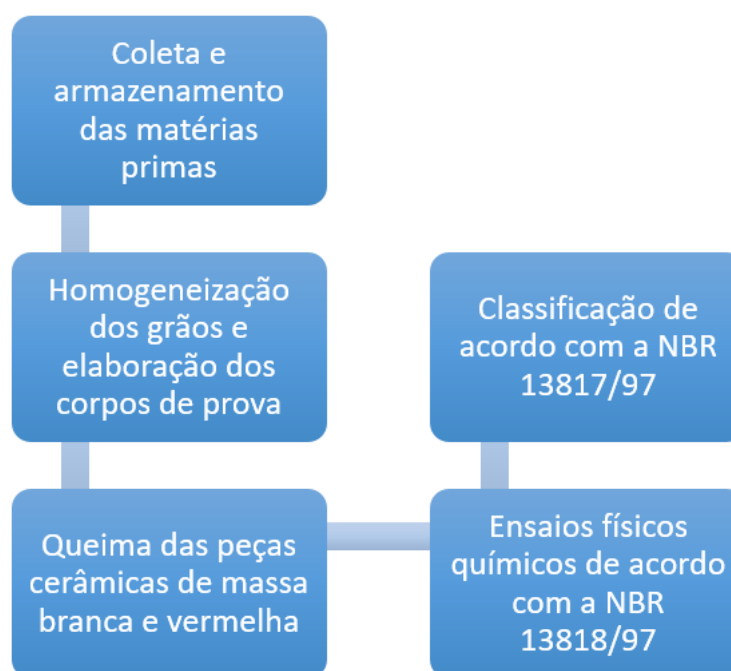
A Resolução do CONAMA, 375/2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto e seus produtos gerados. Essa resolução define as regras para o uso de lodo na agricultura por meio das Instruções Normativas e das Resoluções nº 375/2006 e 380/2006 (LERVOLINO, 2021).

Em São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) exige o acondicionamento e armazenamento adequados dos materiais de acordo com as normas da ABNT 13.221, que aborda o transporte terrestre de resíduos e expede licença, por documento de autorização, o Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental (LERVOLINO, 2021).

4 METODOLOGIA

As atividades foram realizadas no laboratório técnico da ETEC, sob a supervisão e orientação da Prof. Dr. Gislaine Aparecida Barana Delbianco, e a orientação será feita pelos Prof. Dr. Ricardo Francischetti Jacob e Prof. Dr. Sérgio Delbianco Filho. Baseados no trabalho de Delbianco (2008).

Figura 4. Fluxograma de atividades experimentais



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

4.1 Coleta e Armazenamento das Matérias Primas

A coleta do lodo ETA ocorreu em julho sendo armazenado em um recipiente de vidro. Esse resíduo da Estação de Tratamento de Água estava levemente úmido, com consistência argilosa. Em seguida essa umidade foi retirada por meio de exposição a luz solar durante três horas. Este foi armazenado em local sem umidade e em temperatura ambiente e foi verificado o pH da matéria prima.

4.2 Homogeneização dos Grãos e Elaboração dos Corpos De Prova

Misturar o lodo seco com a argila vermelha e branca e umedecer levemente para criar liga, com amostras de 0%, 5% e 10%.

Tabela 1. Formulação dos Corpos de Prova.

FORMULAÇÃO	% RESÍDUO	% ARGILA	
		BRANCA	VERMELHA
1	0	100	100
2	5	95	95
3	10	90	90

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Para homogeneizar os grãos e elaborar os corpos de prova foi necessário macerar o lodo de forma manual, com auxílio do almofariz e pistilo, peneirar na peneira granulométrica de 0,0045, fazer os cálculos para a formulação das peças cerâmicas, pesagem das matérias-primas para cada fórmula, umidificação dos corpos de prova, prensagem, por meio de um pino de caminhão e pedaço de cano PVC, e, por fim, a secagem ao ar livre por cerca de uma semana.

4.3 Sinterização das Peças Cerâmicas de Massa Branca E Vermelha

As amostras foram colocadas em prensa manual para a formação do ladrilho. A sinterização das peças ocorreu no forno mufla a 1000°C durante uma hora. Esta queima precisou ser feita de forma fracionada, aproximadamente em um mês, pois o aparelho comportava até 30 peças por queima.

Figura 5. Prensa Improvisada

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

4.4 Ensaios Físico-Químicos de Acordo com NBR 13 818/97

As amostras de peças cerâmicas foram pesadas após a queima e foi realizado os ensaios de pH, condutividade, Cone de Imhoff, absorção de água, absorção de óleo e ataque químico.

4.4.1 Teste pH

O teste de pH tem como intuito verificar se a necessidade de iniciar um tratamento nas argilas e lodo para sua neutralização.

4.4.2 Teste de Condutividade

Os testes de condutividade têm como finalidade verificar a segurança quanto ao nível de condução elétrica.

4.4.3 Análise no Cone de Imhoff

O Cone de Imhoff foi utilizado para medir a quantidade de sólidos suspensos em uma amostra aquosa.

4.4.4 Análise de Absorção de Água

A absorção de água ocorreu de forma qualitativa pois não havia disponibilidade de equipamentos para o ensaio quantitativo. O processo envolvido tinha como base a fervura das peças imersas em água durante uma hora e trinta minutos. Para a análise quantitativa era preciso do teste de resistência mecânica para classificar a abrasão do protótipo.

4.4.5 Análise da Mancha de Óleo

A absorção de óleo tem como objetivo analisar a porosidade da cerâmica. Para realizar essa etapa foi adicionado 9 gotas de óleo, com auxílio da pipeta de Pasteur, na superfície da amostra, colocando o vidro-relógio sobre a peça para melhores resultados, permanecendo em repouso durante 24 horas.

4.4.6 Teste de Ataque Químico

O ataque com compostos químicos analisa a resistência dos corpos de prova quanto a componentes químicos diversos. Esse teste ocorreu por meio da aplicação da solução de limpeza profunda, contendo ácido clorídrico (HCl) e benzoato de

denatônio, para verificar sua resistência em diversos locais de construção civil. Para dar continuidade no procedimento, foi usado a pipeta de Pasteur e vidro-relógio, seguindo a mesma metodologia do teste anterior.

4.5 Classificação de Acordo com a NBR 13817/97

Após os ensaios físico-químicos os resultados para a classificação de acordo com a tese foram comparados com os dados obtidos na (Tabela 1).

Tabela 2. Resultado dos testes da tese de doutorado da Dr^a. Prof^a Gislaíne Ap. Barana Delbianco.

RESISTÊNCIA							
Produto (empresa)	Absorção de água	Expansão umidade	MRF (1)	Mancha	Ataque Químico	PEI (4)	OBS
Cetajel (rústico)	6 a 10 %	0,6	19	3	GLA (2)	4	Material prensado
Lepri Industrial	<6%	*	20	De acordo com a especificação	GLB (3)	2	
Antigua	<5%	*	35	*	GLA	4	
Fênix	Não apresenta especificações e recomendasse o uso de ceras periodicamente, adverte para a possibilidade de aparecimento de manchas e eflorecências.						

MRF – módulo de Resistencia à Flexão; * não especificado. (2) **GLA** – esmaltado de baixa concentração sem efeito visível. (3) **GLB** – esmaltado de baixa concentração com efeito visível, (4) Método Porcelain Enamel Institute.

Fonte: DELBIANCO, 2008

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 Coleta e Armazenamento das Matérias – Primas

A amostra de argila branca e vermelha foi doada pela empresa Embramaco de Cordeirópolis – SP. A amostra de lodo da ETA foi doada pela BRK Limeira – SP. Após o recebimento, o lodo foi exposto à luz solar por três horas para a remoção de sua umidade, adquirindo, assim, uma consistência de maior rigidez.

Figura 6. Aspecto do Lodo Seco



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

5.2 Homogeneização dos Grãos e Elaboração dos Corpos de Prova

Durante a primeira formulação houve um equívoco com as quantidades de cada matéria-prima e ocorreu a inversão das massas de resíduo (lodo) e argila, resultando em tijolos (peças muito porosas e quebradiças) ao invés de peças cerâmicas (porosidade baixa e de alta resistência)

Tabela 3. Formulação Antiga dos Corpos de Prova.

FORMULAÇÃO	% RESÍDUO	% ARGILA	
		BRANCA	VERMELHA
1	100	0	0
2	95	5	5
3	90	10	10

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Durante uma reunião com o Prof^o. Dr^o. Sérgio Delbianco Filho e Prof^o. Dr^o. Ricardo Francischetti Jacob foi discutido sobre a necessidade de uma segunda formulação, e posteriormente conversado com a orientadora e realizando uma nova, que atendeu as expectativas. A segunda formulação está na tabela 1, tópico 4.2 na página 28.

Figura 7. Primeira Formulação



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Figuras 8 e 9. Segunda Formulação: Corpos de Prova Recém Feitos



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

5.3 Sinterização das Peças Cerâmicas de Massa Branca e Vermelha

Figuras 10, 11 e 12. Sinterização dos Corpos de Prova e Peças Após a Sinterização

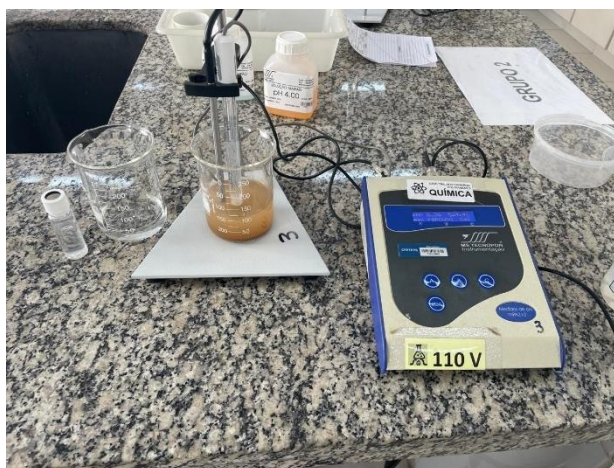


Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

5.4 Ensaios Físico-Químicos de Acordo com NBR 13818/97

O teste de pH nas matérias primas foi realizado de acordo com a norma NBR 13818/97, segue na tabela 4 valores de pH.

Figura 13: pH do lodo.



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Tabela 4. Valores de pH

AMOSTRA	pH
Lodo ETA	6,26
Argila vermelha	8,97
Argila Branca	9,55

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Os testes de condutividade tinham como finalidade verificar a segurança quanto ao nível de condução elétrica.

Figuras 14, 15, 16: Condutividade das amostras.

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Tabela 5. Valores de Condutividade

AMOSTRA	CONDUTIVIDADE
Lodo ETA	88,35
Argila vermelha	33,32
Argila Branca	66,49

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

5.4.1 Sólidos Suspensos

O Cone de Imhoff foi para medir a quantidade de sólidos suspensos em uma amostra aquosa (ambas soluções com concentração 10%), na amostra de argila

vermelha as quantidades de sólidos suspensos foram de aproximadamente 97 mg/L e na argila branca foi aproximadamente 45 mg/L. Já na amostra do lodo foi próximo de 250 mg/L.

Figuras 17 e 18. Cone de Imhoff Para as Argilas e Lodo



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Os resultados de sólidos suspensos por amostras a partir do critério matemático:

Tabela 6. Resultados Matemáticos

RESULTADOS	
Amostras	Resultado Matemático
Argila branca	45.000 mL/L
Argila vermelha	250.000 mL/L
Lodo da ETA	97.000 mL/L

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

5.4.2 Absorção de Água

Com a análise da absorção de água foi verificado de forma qualitativa uma leve absorção de umidade pela a alteração da aparência do protótipo, apresentando uma coloração levemente esbranquiçada na parte superior das peças.

Figuras 19 e 20. Absorção de Água



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Tabela 7. Porcentagem da Absorção de Água

PORCENTAGEM DE ABSORÇÃO DE ÁGUA						
Massa da Argila	Branca			Vermelha		
	Peças	Padrão	5%	10%	Padrão	5%
A	9,7319	10,46513	18,33584	8,15243	11,70849	15,44324
B	11,38809	12,50322	16,46925	8,52836	10,00476	13,33196
C	10,84719	11,27596	15,43694	7,75378	18,86232	1,77891

Fonte: Acervo Pessoal, 2024

5.4.3 Mancha de Óleo

Para a absorção de óleo conclui-se que as peças não podiam ser classificadas como ladrilhos por sua alta porosidade, mas sim como peças cerâmicas

Figura 21. Absorção de Óleo

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Tabela 8. Absorção de Óleo (g)

ABSORÇÃO DE ÓLEO EM GRAMAS						
Massa da Argila		Branca			Vermelha	
Peças	Padrão	5%	10%	Padrão	5%	10%
A	0,2977	1,3555	2,4733	0,2827	0,2536	0,23
B	0,346	2,7813	2,1277	0,2521	0,2615	0,2402
C	0,889	1,1996	2,2331	0,3367	0,2301	0,2544

Fonte: Acervo Pessoal, 2024

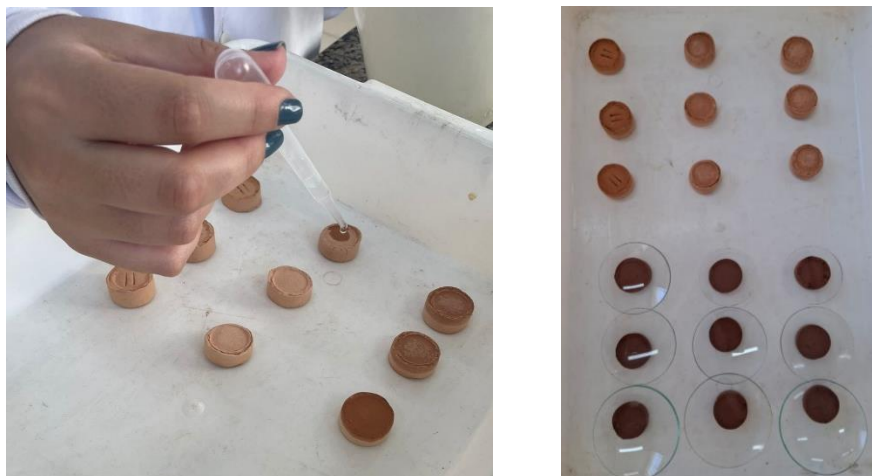
5.4.4 Ataque Químico

Com o ataque de compostos químicos foi analisado a interação das amostras com uma solução ácida. Durante o ensaio, foi observado que as peças cerâmicas de coloração branca apresentaram maior absorção da solução ácida em comparação com as peças de coloração vermelha, assim sugerindo maior porosidade a qual favoreceu a penetração da solução. Após todas as análises efetuamos a classificação das peças cerâmicas.

Após trinta minutos de fervura, foi observado que as peças de coloração branca exibiram uma alteração na coloração da superfície, adquirindo uma tonalidade esbranquiçada, indicando uma possível reação da solução ácida com a cerâmica. Entretanto as peças vermelhas não apresentaram alterações em sua coloração, propondo uma maior resistência a ação química.

Após todas as análises efetuamos a classificação das peças cerâmicas.

Figuras 22 e 23. Aplicação de Produto de Limpeza Forte com HCl



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Figuras 24 e 25. Peças Após o Teste de Ataque Químico



Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

5.5 Classificação de Acordo com a NBR 13817/97

Após todas as análises efetuamos a classificação das peças cerâmicas, mas sem seguir a norma padrão por falta de reagentes. Comparando os resultados obtidos em nossas análises com os resultados da tese da nossa orientadora, temos:

Tabela 9. Resultado geral

Resultados				
Formulação		A.A.	M.O	A.Q.
Branca	1	Abs > 10% (III)	Classe 1	LC
	2	Abs > 10% (III)	Classe 1	LC
	3	Abs > 10% (III)	Classe 1	LC
Vermelha	1	6 < Abs < 10% (IIb)	Classe 1	LB
	2	Abs > 10% (III)	Classe 1	LB
	3	Abs ≥ 10% (III)	Classe 1	LB

A.A. - absorção de água; **M.O.** - mancha de óleo; **A.Q.** - ataque químico.

Fonte: Acervo Pessoal, 2024.

Com base na análise da tabela anterior, conclui-se que a classificação das peças cerâmicas BIII e BIIb não é adequada para todos os tipos de locais e aplicações. A classificação BIIb, caracterizada por ser semi-porosa e de alta absorção, apresenta resistência mecânica baixa, o que limita seu uso em ambientes que exigem maior durabilidade e resistência. Já as peças BIII, sendo mais porosas e com absorção de água altíssima. Nessa classificação, os biscoitos são recomendados para revestimentos de paredes, como azulejos, devido à sua maior absorção, porém com resistência mecânica reduzida.

Além disso, os testes realizados indicam que as peças classificadas como BIII e BIIb não são adequadas para ambientes sujeitos a manchas de óleo, uma vez que a classe 1 do teste de mancha indica que essas manchas são permanentes.

A análise de ataque químico revelou uma resistência insatisfatória nas peças de massa branca e uma resistência média nas peças vermelhas, sugerindo que essas cerâmicas não devem ser expostas a produtos de limpeza agressivos, a fim de evitar danos. Em resumo, as características das peças BIII e BIIb devem ser cuidadosamente consideradas para garantir sua adequação ao ambiente e à função pretendida.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lodo é o material sedimentado removido de decantadores, composto por minerais, matéria orgânica decomposta e coloides, sendo a destinação inadequada de resíduos de Estações de Tratamento de Água (ETA), causando impactos ambientais, como a poluição do solo e da água, além de prejuízos financeiros. A cerâmica, historicamente fabricada no Brasil, se destaca por sua resistência e impermeabilidade devido ao uso de argila tratada termicamente, sendo utilizada tanto para fins funcionais quanto artísticos.

Para desenvolver o trabalho, os objetivos foram transformar o lodo das Estações de Tratamento de Água em matéria-prima para cerâmicas, visando reduzir resíduos em aterros e custos de descarte. A iniciativa estuda as propriedades do lodo e da argila vermelha para criar metodologias e fluxogramas que otimizem o processo, promovendo sustentabilidade e eficiência na produção cerâmica.

Neste aspecto, foram realizadas pesquisas teóricas para desenvolver a metodologia utilizada. Durante a pesquisa, foram obtidas as seguintes informações: O lodo gerado nas ETAs é um resíduo cuja gestão deve seguir a Lei 12.305/2010, priorizando redução, reuso e reciclagem, mas ainda é comumente descartado inadequadamente em corpos d'água, causando impactos ambientais significativos, como aumento da turbidez e contaminação por metais. Apesar disso, 86% das ETAs analisadas ainda desrespeitam a legislação, descartando o lodo sem tratamento. Por outro lado, materiais cerâmicos, obtidos por tratamento térmico de matérias-primas em pó, são opções sustentáveis para incorporar o lodo, aproveitando suas propriedades químicas e contribuindo para uma destinação mais eficiente e ambientalmente correta.

Sob esse viés, o lodo coletado em uma ETA foi seco ao sol, armazenado em local seco e misturado com argilas branca e vermelha em proporções de 0%, 5% e 10% para fabricar corpos de prova. Após homogeneização, prensagem e secagem ao ar, as amostras foram sinterizadas a 1000°C. Ensaio físico-químicos, conforme a NBR 13818/97, avaliaram propriedades como pH, condutividade, absorção de água e óleo, resistência química e porosidade. Esses testes determinaram a viabilidade técnica do lodo na produção de cerâmicas com base nos critérios normativos.

A partir desta tabela 9, pode-se concluir que a classificação das peças BIII e BIIb não são apropriadas para todos os tipos de locais. Pois, BIIb é semi-poroso, com alta absorção e resistência mecânica baixa (BIIb P de 6 a 10%). Já os BIII são porosos, com alta absorção e resistência mecânica baixa (BIII P acima de 10%). É importante ressaltar que as placas cerâmicas classificadas como BIII são recomendadas para serem utilizadas como revestimento de parede (azulejo), justamente por possuírem alta absorção e, portanto, resistência mecânica reduzida. O teste da mancha de óleo foi essencial, pois foi observado que se encaixa na classe 1, o que significa que não é possível a remoção da mancha. O teste do ataque químico indicou baixa resistência nas peças de massa branca e média resistência nas peças vermelhas, apontando que o biscoito não pode ser exposto a produtos de limpeza profunda.

REFERÊNCIAS

ACHON, C.L.; CORDEIRO, J.S. **Destinação E Disposição Final De Lodo Gerado Em Eta - Lei 12.305/2010**. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento De 24 a 29 de maio de 2015 – Poços de Caldas - MG, 2015. Disponível em:

<https://trabalhosassemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/103/151/t151t1e1a2015.pdf>. Acesso em: 4. abr. 2024.

AGÊNCIA SENADO. **CMA vai monitorar Política Nacional de Saneamento Básico durante 2023**. Agência Senado, 2023. Disponível em:

<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/04/04/cma-vai-monitorar-politica-nacional-de-saneamento-basico-durante-2023/> Acesso em: 29. mai. 2024.

ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. **ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMPACTA**. Águas Claras Engenharia, 2023. Disponível em:

https://aguasclarasengenharia.com.br/estacao-de-tratamento-de-agua-compacta/?gclid=EAlaIqobChMI8drvpaWf_gIVmxbUAR3PIQTAEAAAYiAAEgJHz_D_BwE. Acesso em: 13. abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: 2004 - Classificação de resíduos sólidos**. Disponível em:

<https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.

BETEMPS, C. **Ciência ajuda a aproveitar lodo de tratamento de água na agricultura**. Embrapa, 2022. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/76090340/ciencia-ajuda-a-aproveitar-lodo-de-tratamento-de-agua-na-agricultura#:~:text=O%20lodo%20e%20seu%20destino,-Os%20Letas%20s%C3%A3o&text=posuem%20%C3%A1gua%20tratada,-,A%20partir%20da%20separa%C3%A7%C3%A3o%20de%20sedimentos%20formados%20por%20part%C3%ADculas%20minerais,%C3%A1gua%20e%2025%25%20de%20s%C3%B3lidos>. Acesso em: 4. mai. 2023.

CAESB. **Como a Água é tratada?** Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, 2023. Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/como-a-agua-e-tratada.html>. Acesso em: 13. abr. 2023.

CAMPOS, C. F. **Trajectoria e significado do ladrilho hidráulico**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Apud. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ac/a/78BFJmQhsBg8bV5JmbxCY4p/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 7. mar. 2024.

CBH. **O que é ETE e ETA?** Baía de Guanabara, 2023. Disponível em:

<https://comitebaiadeguanabara.org.br/boletim/redebaia/clip/04/materia5.php>. Acesso em: 26. set. 2024.

CERAMICS OF BRAZIL. **Panorama da indústria cerâmica brasileira**. Ceramics Of Brazil, 2024. Disponível em: <https://www.ceramicsofbrazil.com/noticias/panorama-da-industria-ceramica->

