



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
PEDRO VINÍCIUS DO Ó MAIA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA TÊXTIL DO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA/SE POR MEIO DE
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

ESTÂNCIA
2023

PEDRO VINÍCIUS DO Ó MAIA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA TÊXTIL DO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA/SE POR MEIO DE
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

Trabalho de conclusão de curso (TCCII)
apresentado ao Instituto Federal de Sergipe –
Campus Estância, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Vanessa Gentil de
Oliveira Almeida Silva

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Mariano Melo
Júnior

ESTÂNCIA
2023

M217a Maia Ó, Pedro Vinicius do.
Avaliação do potencial de reaproveitamento de resíduos da indústria têxtil do município de Estância/SE por meio de caracterização física e química. / Pedro Vinicius do Ó Maia. - Estância, 2023.
67 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2023.

Orientadora: Profª. Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Mariano Melo Júnior.

1. Resíduos. 2. Lodo têxtil. 3. Cinza de madeira. 4. Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Silva, Vanessa Gentil de Oliveira Almeida. III. Melo Júnior, Carlos Mariano. IV. Título.

CDU: 624:675.92.02/022+502.171

PEDRO VINÍCIUS DO Ó MAIA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA TÊXTIL DO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA/SE POR MEIO DE
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

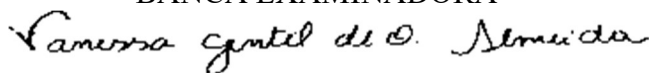
Trabalho de conclusão de curso (TCCII)
apresentado ao Instituto Federal de Sergipe –
Campus Estância, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Vanessa Gentil de
Oliveira Almeida Silva

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Mariano Melo
Júnior

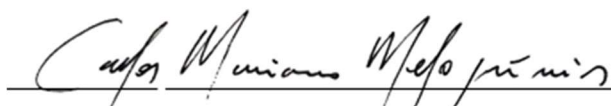
Aprovado em: 17/01/2023

BANCA EXAMINADORA



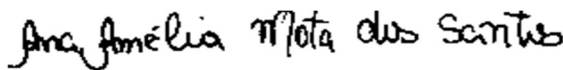
Prof.^a Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva

(IFS – Campus Estância)



Prof. Dr. Carlos Mariano Melo Júnior

(IFS – Campus Estância)



Prof.^a Dra. Ana Amélia Mota dos Santos

(IFS – Campus Estância)



Prof. Dr. Marcus Vinícius Araújo da Silva Mendes

(IFG – Campus Goiânia)

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pois certamente sem ele eu nada seria.

A minha esposa, Fabrícia Maturano Guedes, pelo apoio ao longo dessa jornada.

A minha mãe, Leidiana do Ó Moreira, meu pai, Pedro Mauro Lacerda da Maia, meus irmãos, meus avós e toda a minha família.

A todos aqueles que torcem pelo meu sucesso e oram pela minha vida. Meu muito obrigado!

A minha excelentíssima orientadora, Prof.^a Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva e ao meu digníssimo coorientador, Prof. Dr. Carlos Mariano Melo Júnior, pela compreensão, empenho e dedicação para a realização deste trabalho.

Aos colegas, Veluza, Guilherme, Iury e Emerson, pela ajuda prestada na pesquisa e em laboratório.

A Empresa do setor têxtil de Estância, por disponibilizar os resíduos lodo têxtil e cinza de madeira, para serem utilizados nesta pesquisa.

Ao Instituto Federal de Sergipe - campus Estância e Universidade Estadual de Santa Catarina onde os ensaios foram realizados.

RESUMO

A busca pelo uso de materiais alternativos é uma medida que visa contribuir com o desenvolvimento sustentável no âmbito da construção civil. Como este setor consome grande quantidade de recursos naturais e é responsável por liberar uma grande quantidade de dióxido de carbono na atmosfera ao produzir o clínquer, utilizar resíduos provenientes do processo de fabricação das indústrias, os quais seriam descartados, muitas vezes de forma inapropriada, contribui para uma maior proteção ao meio ambiente. Dessa maneira, o principal objetivo dessa pesquisa é verificar por meio da caracterização física e química dos resíduos gerados de uma indústria têxtil (lodo têxtil e cinza de madeira), do município de Estância/SE, a aplicabilidade em matrizes cimentícias. Os mesmos foram submetidos aos ensaios de caracterização quanto a sua composição granulométrica, massa específica, massa unitária, índice de finura, limite de liquidez, composição química e teor de matéria orgânica. Por meio da composição granulométrica foi possível obter o módulo de finura e a dimensão máxima característica para o lodo têxtil e para a cinza de madeira; em relação a massa específica, os resíduos apresentaram resultados semelhantes aos observados na literatura. A massa unitária dos resíduos foi menor quando comparada à de agregados miúdos. O índice de finura observado nos subprodutos apresentou diferença considerável quando comparados aos valores obtidos para o cimento. O ensaio de limite de liquidez dos subprodutos demonstrou que tanto o lodo têxtil, como a cinza de madeira, são classificados como materiais não coesivos, ou seja, não apresentam plasticidade. Os valores para a composição química dos resíduos apresentaram semelhanças com obtidos em outras pesquisas. O teor de matéria orgânica no lodo têxtil foi superior à média encontrada na literatura para lodos, enquanto que para a cinza de madeira o valor pode ser considerado baixo, devido ser originada de um material orgânico. Por fim, acredita-se que estes resíduos possam ser utilizados como substituto parcial do agregado miúdo sem causar prejuízos significativos ao desempenho do produto final.

Palavras-Chave: Resíduos. Lodo têxtil. Cinza de Madeira. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The search for the use of alternative materials is a measure that aims to contribute to sustainable development in the field of civil construction. As this sector consumes a large amount of natural resources and is responsible for releasing a large amount of carbon dioxide into the atmosphere when producing clinker, the main constituent of cement, using waste from the manufacturing process of industries, which would often be discarded inappropriately, contributes to greater protection of the environment. Thus, the main objective of this research is to verify, through the physical and chemical characterization of waste generated from a textile industry (textile sludge and wood ash), in the municipality of Estância/SE, the applicability in cementitious matrices. They were submitted to characterization tests regarding their granulometric composition, specific mass, unitary mass, fineness index, liquidity limit, chemical composition and organic matter content. Through the granulometric composition it was possible to obtain the fineness modulus and the maximum characteristic dimension for the textile sludge and for the wood ash; with regard to specific mass, the residues tested obtained results similar to those observed in the literature; the unit mass of the residues was smaller when compared to the fine aggregates; the fineness index observed in the by-products showed a considerable difference when compared to the values obtained for the cement; the by-products liquidity limit test showed that both textile sludge and wood ash are classified as non-cohesive materials, that is, they do not present plasticity; the values for the chemical composition of the residues showed similarities with those obtained in other studies; the organic matter content in the textile sludge was higher than the average found in the literature for sludge, while for wood ash the value can be considered low, since it originates from an organic material. Finally, it is believed that these residues can be used as a partial substitute for fine aggregate without causing significant damage to the performance of the final product.

Keywords: Waste. Textile Sludge. Wood Ash. Sustainability. Textile Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do Processo de Tratamento do Efluente Têxtil	15
Figura 2 - Fluxograma do Processo de Geração da Cinza de Madeira na Indústria Têxtil	16
Figura 3 - Fluxograma da Pesquisa	33
Figura 4 - Fluxograma dos Ensaios de Caracterização dos Resíduos	34
Figura 5 - Lodo Têxtil	35
Figura 6 – Moinho de Bolas	35
Figura 7 – Cinza de Madeira	36
Figura 8 – Peneiras Para Análise Granulométrica	37
Figura 9 – Etapas do Ensaio de Massa Específica	38
Figura 10 – Ensaio Limite de Liquidez	40
Figura 11 – Resíduos Antes da Mufla	41
Figura 12 – Resíduos Após a Mufla	41
Figura 13 – Curva Granulométrica do Lodo Têxtil	44
Figura 14 – Curva Granulométrica da Cinza de Madeira	45
Figura 15 – Espectroscopia por Dispersão de Raios-X (EDS)	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resíduos Provenientes da Indústria Têxtil	15
Quadro 2 - Ensaaios Utilizados para a Análise Química do Lodo	23
Quadro 3 - Ensaaios Utilizados para a Análise Química da Cinza	25
Quadro 4 - Propriedades Físicas e Químicas dos Resíduos	27
Quadro 5 - Métodos Para Encontrar o Teor de Matéria Orgânica	27
Quadro 6 – Propriedades Físicas e Químicas dos Resíduos	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa Específica do Lodo Têxtil e Agregados	19
Tabela 2 - Massa Específica da Cinza de Madeira e Agregados	19
Tabela 3 - Índice de Finura da Cinza de Madeira	22
Tabela 4 - Composição Química do Lodo Têxtil	24
Tabela 5 - Composição Química da Cinza de Madeira	25
Tabela 6 - Uso de Lodo Têxtil em Matrizes Cimentícias	29
Tabela 7 - Uso de Cinza de Madeira em Matrizes Cimentícias	31
Tabela 8 - Distribuição Granulométrica do Lodo Têxtil	43
Tabela 9 - Distribuição Granulométrica da Cinza de Madeira	45
Tabela 10 - Propriedades Físicas do Lodo Têxtil	46
Tabela 11 - Propriedades Físicas da Cinza de Madeira	47
Tabela 12 - Composição Química do Lodo Têxtil	48
Tabela 13 - Composição Química da Cinza de Madeira	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIT- Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio

CaO – Óxido de Cálcio

Fe_2O_3 – Óxido de Ferro

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFS - Instituto Federal de Sergipe

K_2O – Óxido de potássio

MgO – Óxido de magnésio

MMA – Ministério do Meio Ambiente

Na_2O – Óxido de sódio

NBR - Norma Brasileira

NM - Norma Mercosul

PF – Perda ao Fogo

SiO_2 – Óxido de Sílica

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento

SO_3 – Óxido de enxofre

TiO_2 – Óxido de titânio

UFS – Universidade Federal de Sergipe

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	13
2.2	RESÍDUOS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL NA CIDADE DE ESTÂNCIA/SE	14
2.3	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS	17
2.3.1	Composição Granulométrica	17
2.3.2	Massa Específica	18
2.3.3	Massa Unitária	20
2.3.4	Índice de Finura	21
2.3.5	Limite de Liquidez	23
2.3.6	Composição Química	23
2.3.7	Teor de matéria orgânica	27
2.4	APLICABILIDADE DOS RESÍDUOS TÊXTEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	28
2.4.1	Lodo Têxtil	29
2.4.2	Cinza de Madeira	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	MATERIAIS	34
3.1.1	Lodo Têxtil	35
3.1.2	Cinza de Madeira	36
3.2	MÉTODOS	36
3.2.1	Composição Granulométrica	37
3.2.2	Massa Específica	37
3.2.3	Massa Unitária	38
3.2.4	Índice de Finura	39
3.2.5	Limite de Liquidez	39
3.2.6	Composição Química	40
3.2.7	Teor de matéria orgânica	41

4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	43
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	43
4.1.1	Composição Granulométrica	43
4.1.2	Massa Específica, Massa Unitária, Índice de Finura e Limite de Liquidez	46
4.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	48
4.2.1	Teor de Matéria Orgânica	50
5	CONCLUSÃO	51
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Em 2021, o setor têxtil foi responsável por empregar 1,5 milhões de pessoas no Brasil e produziu cerca de 36,3% a mais de janeiro a maio em comparação com o ano anterior (ABIT, 2021). Todavia, este setor é responsável por gerar uma grande quantidade de resíduos que são originados dos processos de produção dos tecidos, dos quais são destinados majoritariamente para aterros (GOYAL et al., 2019).

De acordo com dados do Painel da Geração de Resíduos no Brasil, em 2019 foram produzidas aproximadamente 280 milhões de toneladas de resíduos industriais. Desta quantidade, 456,5 mil toneladas foram provenientes da indústria têxtil (IBAMA, 2020). O Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) aborda que 71% dos resíduos gerados no Brasil neste mesmo ano foram destinados para aterros (SNIS, 2019). De acordo com Madurwar, Meshram e Raut (2022), este direcionamento causa impactos ambientais a longo prazo, pois a lixiviação destes materiais pode contaminar o solo e os lençóis freáticos.

Com o intuito de amenizar os impactos ambientais causados pelo descarte inapropriado dos resíduos industriais, a utilização destes subprodutos como uma fonte de recursos é implementada pela Economia Circular (EC), a qual engloba conceitos econômicos fazendo parte do desenvolvimento sustentável. (ECHEVERRIA; PAHLEVANI; SAHAJWALLA, 2019; STAHEL, 2016). Além disso, o direcionamento de resíduos para a produção de materiais de construção contribui para minimizar o impacto ambiental causado pela extração de recursos naturais escassos (AIBIAJAWI; EMBONG; MUTHUSAMY, 2022).

Consoante o Anuário da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), a demanda por agregados para a produção de concreto no Brasil chegou a 770 milhões de toneladas por ano em 2013 (ANEPAC, 2013).

Diante disso, torna-se viável o uso de resíduos como uma fonte alternativa de recurso para a construção civil (AKKOURI et al., 2022). Arelado a minimização da extração de matéria-prima e ao redirecionamento sustentável de subprodutos, o uso dos resíduos em substituição parcial ao cimento pode mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE), haja vista a grande quantidade de dióxido de carbono que é liberado na produção do clínquer (JOSHI et al., 2022).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção (ABIT), em 2021, o Brasil é um dos quatro maiores produtores de malhas do planeta, possuindo a maior esfera têxtil

do Ocidente, composta desde a plantação de algodão até o varejo (ABIT, 2021). Em virtude disso, torna-se inevitável a geração de resíduos sólidos, como é o caso do lodo têxtil e da cinza de madeira, os quais derivam-se dos processamentos de fabricação dos tecidos. A reutilização destes subprodutos como fonte de recursos age como um instrumento de preservação ambiental (ZONATTI, 2016).

Em relação aos possíveis benefícios derivados da incorporação de subprodutos como o lodo têxtil e a cinza de madeira em materiais de construção, pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de analisar as características dos resíduos e avaliar sua influência nas propriedades dos materiais.

Moura (2021) estudou a utilização do lodo têxtil em substituição parcial aos agregados em revestimento asfáltico e para isso caracterizou o subproduto quanto a sua granulometria, massa específica, composição química e características cristalinas inertes. A partir dos resultados observados na pesquisa, o autor concluiu que o lodo têxtil pode ser direcionado para o uso em concreto asfáltico em virtude de alguns aspectos, sendo um deles a ausência de prejuízo às características mecânicas da mistura.

Couto et al. (2018) pesquisaram a respeito dos efeitos da substituição parcial do agregado miúdo por cinza de madeira nas propriedades das argamassas e optaram por caracterizar o resíduo em relação a sua granulometria, massa específica, massa unitária em estado solto, teor de material pulverulento, teor de matéria orgânica e superfície específica. Por meio dos resultados obtidos, tornou-se perceptível que a cinza de madeira pode ser uma alternativa viável, tendo em vista que a substituição de areia por cinza em até 10% não ocasionou perda significativa de resistência à compressão.

Diante do exposto, pretende-se verificar se os resíduos gerados de uma indústria têxtil do município de Estância/SE podem ser empregados em matrizes cimentícias, assim contribuindo, também, para amenizar os impactos no meio ambiente resultantes da indústria da Construção Civil. Assim, os resíduos foram submetidos aos ensaios de caracterização física (composição granulométrica, massa específica, massa unitária, índice de finura e limite de liquidez) e caracterização química (Espectroscopia por Dispersão de raios-X para o lodo e Fluorescência de raios-X para a cinza) o teor de matéria orgânica foi aferido para os dois.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, percebe-se que as indústrias mundiais vêm se comprometendo a reduzir os impactos ambientais resultantes dos seus processos produtivos, buscando métodos que minimizem a emissão de gases poluentes e que promovam a geração de energias renováveis (AIBIAIJAWI; EMBONG; MUTHUSAMY, 2022). No entanto, conciliar este desenvolvimento com o gerenciamento dos resíduos oriundos do processo fabril é um impasse para toda a população (GOYAL et al., 2019).

De acordo com os dados do Observatório de Sergipe, o município de Estância ocupa a quarta posição com 4,0% de participação no Produto Interno Bruto (PIB) do estado, sendo 31,7% desse resultado derivado do setor industrial (SEGG, 2017). Com base na Secretaria Especial de Comunicação Social (SECOM), 45% do PIB de exportações de Sergipe é oriundo deste município. Dentre as indústrias que fazem parte do polo industrial de Estância, pode-se destacar a de produtos alimentícios e bebidas, de madeira e a têxtil (SECOM, 2020).

Em Estância, existem três grandes empresas que atuam no setor têxtil, as quais geram alguns resíduos resultante dos seus processos de produção, tais como: o lodo têxtil, as cinzas de madeira, a fibra de tecido, restos de goma, óleos usados e embalagens diversas. Dentre estes, a presente pesquisa se norteará em abordar os aspectos do lodo residual proveniente do tratamento de efluentes e das cinzas de madeira produzidas na caldeira, tendo em vista que estes foram os materiais disponibilizados por uma das empresas da região para esse estudo.

Visando os possíveis benefícios oriundos da incorporação dos resíduos industriais em materiais de construção alternativos, a caracterização desses materiais provenientes da indústria têxtil é importante para conhecer as suas propriedades e assim avaliar em quais condições a sua aplicação como insumo para construção civil é mais viável, contribuindo dessa maneira com a sustentabilidade.

1.2 OBJETIVOS

Nos tópicos a seguir, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos dessa pesquisa.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar por meio da caracterização física e química dos resíduos gerados (lodo têxtil e cinza de madeira) de uma indústria têxtil do município de Estância/SE suas possíveis aplicações em matrizes cimentícias.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fazer levantamento dos tipos de resíduos gerados em uma indústria têxtil do polo industrial de Estância/SE;
- Explorar as referências bibliográficas sobre a caracterização dos tipos de resíduos da indústria têxtil que serão abordados na pesquisa;
- Conhecer as principais propriedades físicas e químicas dos resíduos de acordo com as normas vigentes;
- Comparar os resultados de caracterização com os de outras pesquisas experimentais, contemplados na fundamentação teórica;
- Avaliar e indicar a aplicação destes resíduos em matrizes cimentícias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em consonância com o objetivo geral desta pesquisa, esse capítulo abordará alguns artigos e trabalhos envolvendo a temática, destacando-se a questão do desenvolvimento sustentável promovido pela utilização de subprodutos que seriam descartados, além de abordar alguns tipos de resíduos provenientes da indústria têxtil do município de Estância/SE, métodos utilizados para sua caracterização de acordo com as normas técnicas vigentes e posteriormente suas possíveis aplicações em matrizes cimentícias.

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A urbanização, associada ao processo de industrialização que ocorreu nas últimas décadas, trouxe como consequência a produção em larga escala de resíduos industriais e também o problema gerado com o seu descarte final, feito na maioria das vezes em locais inapropriados. O direcionamento para aterros ou o despejo desses resíduos sólidos prejudicam o meio ambiente, pois é possível que os lençóis freáticos e os solos sejam contaminados devido ao processo de lixiviação, que ocorre quando a água pluvial percola o aterro ou com a decomposição destes materiais (BOAVENTURA et al., 2021; MADURWAR; MESHRAM; RAUT, 2022).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA/ Ministério do Meio Ambiente (MMA) Nº 499, de outubro de 2020, define resíduo sólido como:

Qualquer material ou produto abjeto gerado por ofícios socioeconômicos, no qual a origem encontra-se no estado sólido ou semissólido, inviabilizando o descarte nas redes públicas de esgoto, ou então tenham um alto custo de tratamento técnico a ponto de torná-lo infactível.

Conciliar o crescimento produtivo com o gerenciamento dos resíduos sólidos é um desafio que recai sobre as esferas de fabricação industrial. Os diversos setores de produção dão origem a uma grande quantidade e variedade de resíduos. Caso não haja um destino seguro, tornam-se perigosos, pois impactam o meio ambiente de forma adversa (CHAVAN et al., 2021).

O conjunto de requisitos para a classificação dos resíduos sólidos no que se refere aos riscos potenciais ao homem e ao meio ambiente são designados pela NBR 10004 (ABNT, 2004), a fim de que estes subprodutos tenham uma gestão apropriada. Com relação ao processo de classificação destes materiais cabe saber a sua origem, elementos constituintes e propriedades, para compará-los com substâncias previamente conhecidas e assim avaliar seus impactos ao

meio ambiente e à saúde pública. Esta norma classifica os resíduos entre classe I (perigosos) e II (não perigosos), sendo os da classe II separados em A (não inertes) e B (inertes).

Um estudo realizado pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) destaca que dos recursos extraídos da natureza mais da metade são destinados ao setor da construção. Este consumo pode ficar ainda maior, levando em conta o aumento populacional ao longo dos próximos anos, ocasionando um maior prejuízo ao meio ambiente (CBCS, 2014).

A problemática do descarte dos resíduos e a possível falta de recursos naturais podem ser amenizados através do uso de técnicas alternativas com a utilização de subprodutos industriais em elementos construtivos, tais como: concreto, argamassa e blocos de pavimentação, o que contribuiria com um menor impacto ambiental (ANANDARAJ et al., 2022; GOYAL et al., 2019; MOLIN; TUTIKIAN, 2011).

2.2 RESÍDUOS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL NA CIDADE DE ESTÂNCIA/SE

Em meados de 1860, a guerra civil americana ocasionou uma redução na produção de algodão nos Estados Unidos. Isso permitiu a sua expansão no nordeste do Brasil, que se instaurou rapidamente em Sergipe, onde ampliaram-se suas lavouras em áreas que antes eram destinadas para a pecuária e plantio de alimentos. Esta produção proporcionou à economia local o desenvolvimento de um novo setor produtivo: a indústria têxtil (FEITOSA; MELO; SUBRINHO, 2009).

A produção têxtil em Estância/SE teve início em 1891 quando a segunda fábrica do estado de Sergipe foi inaugurada na cidade, a Santa Cruz, nove anos após a inauguração da primeira, a qual localizava-se no município de Maruim. Em 1912 foi fundada também na cidade a fábrica Senhor do Bomfim e em 1930 foi inaugurada a Tecidos Piauitinga, possibilitando a organização e um maior desenvolvimento do polo industrial da região (IEL, 1986, apud FEITOSA; MELO; SUBRINHO, 2009; CONCEIÇÃO, 2008).

No ano de 1992, o setor da indústria têxtil representava cerca de 22,39% dos empregos gerados no estado. Este resultado tem ligação direta com o Programa Sergipano de Desenvolvimento Industrial (PSDI) que foi instaurado pela Secretaria de Estado da Indústria e do Comércio, com o intuito de promover um aquecimento socioeconômico na região através do incentivo fiscal e apoio financeiro a empresas privadas, que deveriam contribuir com a geração de empregos e

renda. No entanto, no ano de 2012 essa taxa de emprego correspondia apenas a 8,1%. Este decréscimo ocorreu devido ao produto brasileiro não ter como competir com os produtos importados advindos dos países asiáticos (SANTOS, 2015). Os dados mais recentes sobre a quantidade de pessoal ocupado no setor têxtil em Sergipe são de 2015 e correspondem a 6,9% de trabalhadores nas indústrias de acordo com o IBGE pela pesquisa industrial anual (SILVA, 2019).

No decorrer do processo de fabricação dos tecidos, existem algumas fases que produzem resíduos dos mais diversos tipos, conforme relacionados no Quadro 1.

Fase de produção	Resíduos produzidos
Fiação	Cascas, fibras, borra de fibras, fios, cones, etc.
Beneficiamento	Fibras queimadas, fibras retiradas do material têxtil durante as operações de purga, alvejamento, impregnação de álcali, felpagem e lavagem, pastas de estampar, telas, embalagens diversas, etc.
Tecelagem/Malharia	Restos do banho de goma, embalagens, fibras, fios e tecidos, tecidos de malha, óleo usado, etc.
Enobrecimento	Fibras queimadas, fibras retiradas do material têxtil, durante as operações de desengomagem, purga, alvejamento, impregnação de álcali, felpagem, navalhagem, esmerilhagem e lavagem, pastas de estampar, telas, embalagens diversas.
Confecção	Retalhos e embalagens diversas
Caldeira	Cinzas, embalagens de produtos químicos, borra de óleo, pano com óleo, etc.
Tratamento de efluentes	Lodo biológico, embalagens de produtos químicos, etc.

Quadro 1 - Resíduos provenientes da indústria têxtil (Adaptado de Bastian, 2009).

O lodo biológico é um tipo de resíduo gerado na etapa de tratamento dos efluentes. Este material se encontra no estado semissólido e é basicamente composto de água e matéria orgânica (ALTIDIS, 2014). O detalhamento da geração deste resíduo pode ser observado na Figura 1.

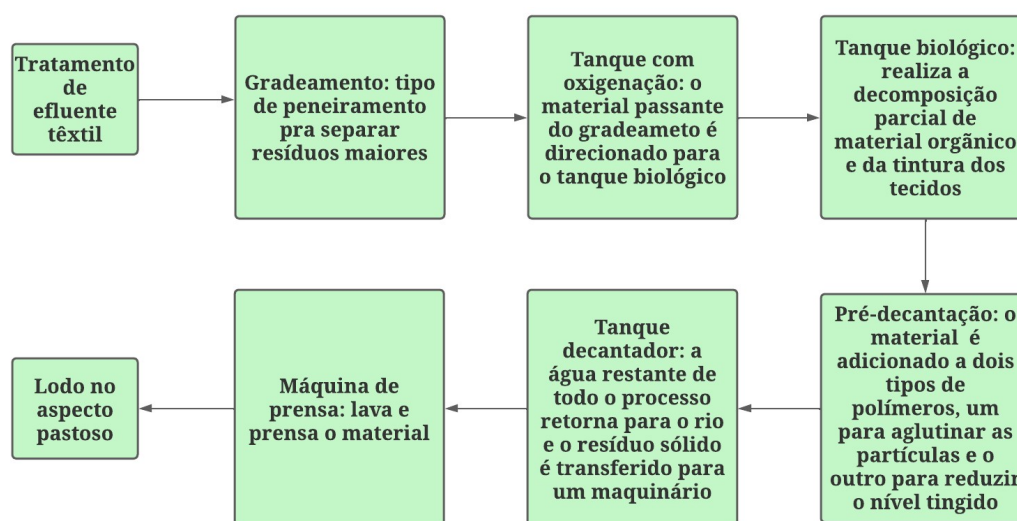


Figura 1: Fluxograma do processo de tratamento do efluente têxtil (Adaptado de Carneiro et al., 2021)

Após a primeira etapa do tratamento do efluente (gradeamento) o lodo passa por tanques a fim de destacar a porção sólida do material, de modo que são adicionados produtos para acelerar a separação entre sólidos e líquidos, tais como, hidróxido de sódio (NaOH) e sulfato de alumínio (Al_2SO_4). O material sólido de maior densidade concentra-se no fundo do tanque, de modo a originar o lodo têxtil (MOURA, 2021).

Na maioria das vezes, o lodo gerado nesse processo é destinado para o uso agrícola, incineração, direcionamento para aterros e até para o despejo a céu aberto. Estes métodos de descarte não são opções ecologicamente corretas devido ao potencial de contaminação presente neste material, pois o contato do lodo com o solo pode ocasionar lixiviação a longo prazo e a sua incineração libera gases de efeito estufa, agravando dessa maneira, o aquecimento global (GOYAL et al., 2019).

Outro resíduo proveniente do processo, que será tratado nesse trabalho, são as cinzas de madeira, pois geralmente nas fábricas são utilizadas caldeiras a vapor para aquecer a água usada para tingir os tecidos. O tipo da madeira influencia na quantidade de cinza resultante no final da combustão, sendo que a madeira dura produz mais cinzas do que a madeira macia. Em média, são produzidas entre 6% à 10% de cinza referente ao peso da madeira (SIDDIQUE, 2012).

O processo de geração da cinza de madeira, utilizada nas caldeiras das indústrias têxteis, está apresentado na Figura 2.

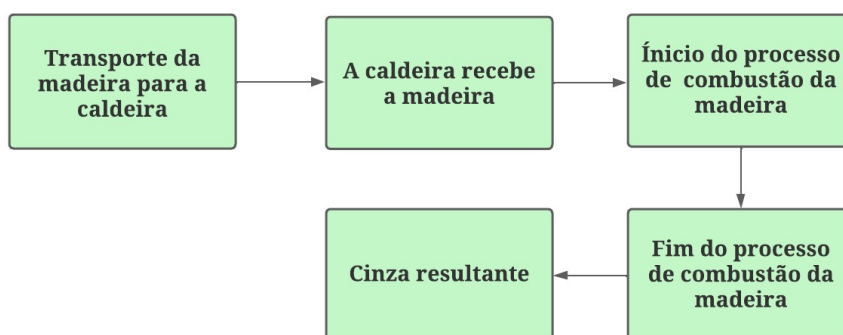


Figura 2: Fluxograma do processo de geração da cinza de madeira na indústria têxtil (O Autor, 2022)

Calcula-se que uma lavanderia têxtil de médio porte produza a partir da combustão da madeira nas caldeiras um valor aproximado de 6,5 toneladas de cinza por mês. Estas cinzas geralmente são direcionadas para valas abertas sem nenhum tipo de controle, impossibilitando assim o seu uso comercial e podendo prejudicar o meio ambiente devido ao descarte inadequado deste material (MELO, 2012).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Em seguida, serão abordados os ensaios de caracterização para composição granulométrica, massa específica, massa unitária, índice de finura, limite de liquidez, composição química e quantidade de matéria orgânica encontrados na literatura para o lodo têxtil e a cinza de madeira.

2.3.1 Composição Granulométrica

A composição granulométrica é obtida através do peneiramento do material pelas peneiras da série normal e intermediária (NBR 17054 (ABNT, 2022)). Este ensaio permite a obtenção dos valores para o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos grãos do material, propriedades estas que influenciam nas características de resistência mecânica e reológicas, as quais estão relacionadas a um bom desempenho (CABALA et al., 2015).

a) Lodo têxtil

Ferreira (2018), em sua pesquisa sobre a incorporação de lodo proveniente da estação de tratamento de lavanderia industrial em cerâmica vermelha, realizou a distribuição granulométrica pelo método de peneiramento concomitantemente com a sedimentação gravimétrica. Antes de realizar o ensaio, o lodo foi seco em estufa a 60 °C e destorroado com o uso de almofariz e pistilo a fim de passar na peneira de 20 mm. Foi observado que 80% das partículas do resíduo caracterizaram-se como areia. Este resultado classifica o resíduo como não plástico e isso relaciona-se com o teor de trabalhabilidade/plasticidade do material cerâmico, implicando em fatores como retração por secagem e na resistência mecânica.

Silveira (2020) estudou os efeitos da substituição de agregado miúdo por lodo têxtil sobre a resistência mecânica de argamassa de assentamento. Antes de iniciar os ensaios de caracterização, o material foi seco em estufa a uma temperatura de 105 °C por 24 horas e então desagregado com o auxílio de uma espátula. O uso do resíduo com granulometria semelhante à da areia foi escolhido para manter a homogeneidade da mistura quando incorporado na argamassa. Observou-se que sua incorporação nos percentuais de 1%, 1,5% e 2% promoveram um aumento no índice de vazios e na absorção de água.

Vermollen (2021) estudou a influência da adição de lodo têxtil em propriedades de resistência de um solo tratado com cimento. O material primeiramente foi seco ao ar livre e depois levado para estufa a 60 °C. Esta temperatura (abaixo de 100 °C) foi utilizada a fim de que não houvesse reação de queima com a matéria orgânica presente na composição do subproduto. Pôde-se constatar que o material exerceu um comportamento não plástico e, além disso, o resultado da

curva granulométrica permitiu observar também que o resíduo foi classificado como uma mistura mal graduada entre silte e areia, pois 70,43% do material correspondeu a partículas do tamanho de areia e 21,27% ao silte.

Moura (2021) em sua pesquisa sobre a utilização de lodo têxtil em revestimento asfáltico, utilizou o resíduo em substituição parcial ao ligante, diante disso, utilizou a técnica de granulometria a laser, método também utilizado por Leloup (2013), para caracterizar o resíduo conforme sua composição granulométrica e obteve um resultado que mostra que 97,15% do resíduo possui partículas inferiores a 80 micrômetros, em virtude disso o lodo têxtil pode ser classificado como filer.

b) Cinza de Madeira

No trabalho realizado por Barros, Jesus e Lima (2021) sobre a caracterização da cinza de madeira para a aplicação em pavimentos, optou-se por utilizar a NBR 7181 (ABNT, 2018) para ensaiar o resíduo em relação a sua granulometria e com isso foi observado a distribuição do tamanho dos grãos e as possíveis relações nas propriedades dos pavimentos. O resultado obtido na curva granulométrica demonstrou que os grãos da cinza têm tamanho próximo aos grãos de areia, possuindo semelhança considerável de 88,88%.

Todavia, na pesquisa desenvolvida por Moura (2017), que discorre sobre a incorporação de cinzas de algaroba geradas no Arranjo Produtivo Local (APL) de confecções do agreste pernambucano em concreto, apenas uma parcela mínima do resíduo assemelhasse ao agregado miúdo, enquanto que a maior parte das partículas de cinza (65%) são classificadas como filer.

Abdulkareem et al. (2019) estudaram a adição de cinza de madeira para a produção de argamassa geopolimérica e perceberam que a composição granulométrica apresentou uma distribuição irregular das partículas da cinza de madeira, ocasionando um maior atrito entre estas, dificultando assim a trabalhabilidade da mistura, de modo que foi preciso uma maior quantidade de água para o seu desempenho. Esta distribuição irregular deve-se ao fato de que o processo de queima do material não ocorreu com uma temperatura regular, tornando a combustão do resíduo incompleta (CENTENARO; PAULINO; SILVA, 2021).

2.3.2 Massa Específica

A massa específica é a propriedade resultante entre a interação do agregado seco com o seu volume, desconsiderando os espaços vazios (NBR 16916 (ABNT,2021)). Segundo Bronoski et

al. (2007), a massa específica influencia nos valores de módulos de elasticidade e na ruptura dos materiais de modo diretamente proporcional.

a) Lodo Têxtil

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados de pesquisas obtidos para a caracterização da massa específica do lodo têxtil com o uso de diferentes métodos.

Tabela 1 - Massa específica do Lodo Têxtil e agregados			
Autores	Norma Utilizada	Massa específica (g/cm ³)	
		Lodo	Areia
Carneiro et al. (2021)	NBR 16605 (ABNT, 2017)	2,20	-
Marangoni, Vanzetto e Zaleski (2018)	NBR NM 23 (ABNT, 2000)	1,63	2,62
Andrade et al. (2004)	NBR 6508 (ABNT, 1984)	1,09	-

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

Carneiro et al. (2021) caracterizaram o lodo têxtil para a aplicação em materiais de construção alternativos e observaram que o efeito filler ocasionado pelo menor diâmetro do resíduo (inferior a 80 micrometros), pode contribuir na estabilização de solos e na ausência de danos mecânicos significativos em argamassa de cimento.

Marangoni, Vanzetto e Zaleski (2018) avaliaram a incorporação do lodo como substituto ao agregado miúdo na matriz de concreto. O valor da massa específica encontrada para o subproduto foi menor quando comparada ao agregado miúdo. Segundo Aquino et al. (2015), o lodo tem uma menor massa específica devido a quantidade significativa de matéria orgânica presente no resíduo.

Andrade et al. (2004) concluíram em seu trabalho sobre a lixiviação de contaminantes de composto solo-cimento que os baixos valores encontrados em relação a densidade do lodo têxtil podem estar relacionados com a quantidade de água presente na composição deste material.

b) Cinza de madeira

Alguns autores caracterizaram a cinza de madeira em relação a massa específica, como pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Massa específica da cinza de madeira e agregados

Autores	Norma Utilizada	Massa específica (g/cm ³)		
		Cinza	Areia	Cimento
Lima (2019)	NBR 16605 (ABNT, 2017)	2,76	2,58	3,09
Gluitz e Marafagão (2013)	NBR NM 23 (ABNT, 2000)	2,62	-	3,15
Melo (2012)	NBR NM 23 (ABNT, 2000)	2,86	2,63	3,10

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

Lima (2019), em sua pesquisa sobre a incorporação de cinza de madeira como filer alternativo em concreto autoadensáveis, caracterizou a cinza em relação a sua massa específica e percebeu que o resultado foi semelhante ao filer calcário. Este resultado é satisfatório, pois o filer calcário é muito utilizado em concretos, além disso a substituição em até 50% do resíduo em relação ao filer tradicional apresentou resultados positivos quanto a resistência a compressão e durabilidade.

Gluitz e Marafagão (2013) pesquisaram a utilização da cinza de madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland em argamassa e ensaiaram a cinza em relação a essa propriedade, averiguando que se obteve valor menor do que a massa específica do cimento. Com isso, há a possibilidade deste resíduo possuir certa quantidade de matéria orgânica presente em sua composição (LIMA, 2021).

Melo (2012) analisou o uso de cinza de madeira em substituição parcial ao cimento em argamassa e notou que a cinza de madeira possui menor massa específica em comparação com o ligante, no entanto para a substituição de 5% a amostra apresentou maior resistência do que a de controle. É provável que isso tenha sido ocasionado pela promoção de um melhor empacotamento da mistura oriundo da presença da cinza.

2.3.3 Massa Unitária

A massa unitária pode ser definida como a relação entre a massa de um material que ocupa um recipiente e o volume deste recipiente. O ensaio de caracterização da massa unitária indica o índice de vazios do material (NBR 16972 (ABNT, 2021)). Esta propriedade interfere na dosagem do concreto, pois influencia no consumo dos ligantes (CARNEIRO; CINCOTTO; JOHN, 1997).

a) Lodo têxtil

Avelar et al. (2016) avaliaram o uso de resíduos sólidos (fibra de algodão e lodo têxtil) oriundos da indústria têxtil para a fabricação de briquetes e realizaram ensaios de caracterização do lodo, sendo um deles o de massa unitária. O valor do ensaio foi de $0,39 \text{ g/cm}^3$, resultado maior que o da fibra de algodão, resultando em um briquete mais denso do que o produzido com a fibra. Este resultado é satisfatório para efeitos de resistência à compressão, considerando que materiais com massa unitária mais elevada possuem menos poros, implicando assim em um aumento da compactação da mistura (GOUVEIA; SAMPAIO; SOUZA, 2014).

b) Cinza de Madeira

Melo (2012) analisou a substituição parcial de cimento por cinza de madeira na produção de argamassa e caracterizou o subproduto com relação a sua massa unitária. Por meio dos resultados, tornou-se perceptível que a cinza de madeira possuiu massa unitária correspondente a $0,88 \text{ g/cm}^3$, enquanto a do cimento equivale a $1,41 \text{ g/cm}^3$, o que tornou a argamassa mais leve. No entanto, Pires (2016), em seu trabalho sobre o desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento por cinza de madeira, ao analisar a massa unitária do resíduo notou que os valores foram próximos para esse aspecto entre a cinza ($0,60 \text{ g/cm}^3$) e o cimento ($0,86 \text{ g/cm}^3$), não apresentando assim diferença significativa, diferentemente dos valores de massa específica e área superficial, os quais se distanciaram dos valores obtidos para o ligante.

2.3.4 Índice de Finura

O índice de finura é a relação entre o material retido na peneira de $75 \mu\text{m}$ e sua massa total (NBR 11579 (ABNT, 2013)). Conhecer esta propriedade é importante, pois uma maior quantidade de finos aumenta a área superficial, o que influencia na viscosidade das matrizes cimentícias (LIMA, 2019).

a) Lodo Têxtil

Marangoni, Vanzetto e Zaleski (2018), em sua pesquisa sobre a incorporação de lodo em concreto constataram que o lodo obteve uma maior quantidade de partículas menores quando comparado ao agregado miúdo e isso contribuiu com a redução dos vazios, uma vez que as partículas menores preenchem estes espaços. Todavia, com uma substituição de 15%, percebeu-se um excesso de finos na mistura, o qual gerou um aumento na absorção de água e quantidade de poros. Isso resultou em um concreto com menor resistência à compressão.

De acordo com Balasubramanian et al. (2006), ao estudarem o reaproveitamento do lodo têxtil em materiais de construção, desconsiderou-se a utilização do resíduo passante da peneira de 90 μm , pois seu pequeno tamanho e baixa densidade dificultaram o seu manuseio. O fato do lodo ser mais fino que o cimento contribuiu com o preenchimento dos vazios, contudo à medida que a quantidade de lodo aumentava, fez-se necessário adicionar uma maior quantidade de água, implicando assim numa menor resistência mecânica. Isto pode ter ocorrido tanto por um excesso de finos como pela quantidade de matéria orgânica que compõe o lodo (GOYAL et al., 2019; MARANGONI; VANZETTO; ZALESKI, 2018).

b) Cinza de Madeira

Na tabela 3 estão apresentados os resultados encontrados na literatura para o índice de finura da cinza de madeira.

Tabela 3 - Índice de finura da cinza de madeira

Autores	Métodos	Índice de finura	Peneira
Gonçalves, Paula e Soares (2021)	NBR 15894-3 (ABNT, 2010)	52,63%	45 μm
Medeiros (2018)	NBR 15894-3 (ABNT, 2010)	34%	45 μm
Santos (2013)	NBR 15894-3 (ABNT, 2010)	48,81%	45 μm

Fonte: O Autor, 2022.

Gonçalves, Paula e Soares (2021), ao caracterizarem a cinza de madeira para o uso em argamassa, perceberam que o aumento da superfície específica promovido por partículas de tamanhos menores auxilia no desenvolvimento da atividade pozolânica. A explicação disso é dada por Medeiros (2018), em sua pesquisa sobre a influência das características das cinzas nas propriedades do concreto. Este autor discorre que os óxidos de cálcio são fixados com maior facilidade por grãos com menor finura. Isso ocorre devido a maior exposição de fração amorfa do material com a mistura (CORDEIRO; KURTIS, 2017).

De acordo com Santos (2013), que estudou a caracterização do comportamento mecânico da cinza para sua aplicação em pavimentos, materiais que possuem um alto índice de finura tendem a desenvolver algum tipo de efeito filer, pois o material fino preenche uma maior quantidade de poros, resultando no aumento da adesão das partículas presentes na mistura e implicando em um melhor desempenho mecânico.

2.3.5 Limite de Liquidez

O limite de liquidez é definido como o mínimo teor de umidade para que o material se encontre em estado líquido (PRIM, 1998) e é aferido conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016), possibilitando que se possa determinar o índice de plasticidade dos materiais, definindo-os como plásticos ou não plásticos (LAGETEC, 2016).

a) Lodo têxtil

Kelm (2014) estudou as propriedades mecânicas do lodo têxtil para fins de utilização em pavimentos rodoviários. Ao caracterizar o resíduo em relação ao seu limite de liquidez, observou que o lodo apresentou comportamento não plástico, pois demonstrou dificuldade em absorver a água utilizada, impedindo assim o prosseguimento do ensaio. Este comportamento pode estar associado ao alto teor de matéria orgânica presente na composição do material.

b) Cinza de madeira

Barros, Jesus e Lima (2021) caracterizaram a cinza para a aplicação em pavimentos flexíveis. Ao ensaiarem a cinza com relação ao seu limite de liquidez, foi percebido que o resíduo absorveu a água, no decorrer do ensaio o resíduo não atendeu aos limites mínimos de golpes, não apresentou consistência, desse modo a cinza foi classificada como material não plástico. De modo similar, Ribeiro (2017) ao utilizar a cinza na produção de solo-cimento também observou que a cinza de madeira não apresentou plasticidade.

2.3.6 Composição Química

A caracterização química permite a observação dos elementos que compõem o material, como também suas características estruturais, os métodos comumente mais utilizados são: Difração de raios-X (DRX) e Fluorescência de raios-X (FRX). A partir destes ensaios, torna-se possível conhecer a influência dos componentes nas suas propriedades (MEDEIROS, 2018).

a) Lodo Têxtil

No Quadro 2, estão listados alguns métodos encontrados na literatura para realizar os ensaios químicos do lodo têxtil. A possibilidade de conhecer a composição química do resíduo permite identificar as características do material (ANJOS, 2017).

Autores	Métodos
Barros et al. (2020)	Difratometria de raios-X (DRX)
Aquino et al. (2015)	Espectroscopia por fluorescência de raios-X (FRX)
Dias Júnior (2013)	Espectrofotométrico de absorção atômica
Nunes (2022)	Espectroscopia por Dispersão de raios-X (EDS)

Quadro 2 – Ensaio utilizados para a análise química do lodo (Adaptado pelo Autor, 2022).

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados observados por diversos autores acerca da composição química do lodo têxtil. Existe uma variação com relação ao percentual nos elementos constituintes desse resíduo. Esta variação pode ser devido aos tipos de produtos utilizados no tratamento de efluentes da indústria têxtil (ANJOS, 2017).

Tabela 4 - Composição química do lodo têxtil

Autores	Composição química (%)										
	SiO₂	Al₂O₃	MgO	CaO	Na₂O	Fe₂O₃	K₂O	SO₃	MnO	PF	Outros
Moura (2021)	14,81	3,62	20,98	28,18	-	1,44	-	4,34	1,63	20,0	5
Goyal et al. (2019)	3,80	0,30	1,00	33,50	0,06	18,90	0,04	0,40	-	40,60	1,40
Anjos (2017)	5,10	17,00	6,30	63,10	1,20	0,30	0,40	4,10	-	-	2,50
Aquino (2015)	26,64	0,35	2,24	4,02	0,40	0,23	0,21	2,12	-	61,80	1,99
Altidis (2014)	47,86	3,19	1,81	1,68	0,65	0,16	0,07	-	-	43,18	1,4

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

SiO₂: óxido de silício; Al₂O₃: óxido de alumínio; MgO: óxido de magnésio; CaO: óxido de cálcio; Na₂O: óxido de sódio; Fe₂O₃: óxido de ferro; K₂O: óxido de potássio; SO₃: óxido de enxofre; PF: perda ao fogo.

A presença de óxidos de ferro, de enxofre e de alumínio no lodo têxtil pode ser oriunda da utilização de produtos como sulfatos ferroso e de alumínio, os quais são utilizados como floculante no tratamento do efluente têxtil (BERGAMASCO et al., 2002; FLORES et al., 2010). Segundo Moura (2021), a presença de óxido de sílica (SiO₂) deriva da utilização de argila expandida no processo de estonagem (procedimento que prepara o tecido para a fase de alveijamento).

Em sua pesquisa sobre a utilização de lodo têxtil para a produção de concreto asfáltico, Moura (2021) optou por caracterizar o lodo quanto a sua composição química pelo método de

fluorescência de raios-X. O autor observou que a presença dos óxidos de cálcio, magnésio e sílica promovem maior viscosidade à amostra, melhorando assim a adesão da mistura, enquanto a quantidade de matéria orgânica tal como a celulose propende a equiparar o teor de enrijecimento do material.

De acordo com Anjos (2017), através da análise química do lodo, o óxido de sílica concomitantemente com óxido de alumínio, óxido de magnésio e óxido de cálcio são constituintes que representam mais de 50% da composição desse material. A presença dos óxidos de alumínio, sílica e ferro quando correspondeste a 70% ou mais da composição do material, pode promover alguma atividade pozolânica no caso da incorporação em matriz cimentícia (GOYAL et al., 2019).

Altidis (2014), ao pesquisar sobre a utilização de lodo têxtil como substituto parcial do agregado miúdo para a fabricação de concreto não estrutural, observou que os elementos que compõem o resíduo apresentaram uma perda ao fogo de 43%. Isto pode ter ocorrido devido a quantidade significativa de matéria orgânica presente na composição do material (AQUINO et al., 2015).

b) Cinza de Madeira

No Quadro 3, estão listados os métodos encontrados na literatura para realização dos ensaios químicos da cinza de madeira.

Autores	Métodos
Derogar, Ince e Tayançlı (2021)	Fluorescência de raios-X (FRX)
Burns et al. (2019)	Fluorescência de raios-X (FRX)
Ribeiro (2017)	Difração de raios-X (DRX)
Scremim (2014)	Espectroscopia por Dispersão de raios-X (EDS)

Quadro 3 - Ensaios utilizados para a análise química da cinza (Adaptado pelo Autor, 2022).

De acordo com Ban e Ramlin (2011), o ensaio químico das cinzas é relevante, pois possibilita identificar a sua composição e se o subproduto dispõe de características para ser utilizado como material pozolânico em materiais de matriz cimentícia. Medeiros (2018) discorre que as principais propriedades relacionadas ao desenvolvimento do efeito pozolânico são a finura dos grãos e a composição química dos materiais.

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados obtidos em algumas pesquisas para a composição química da cinza de madeira.

Tabela 5 - Composição química da cinza de madeira

Autores	Tipo de Madeira	Composição química (%)									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	CaO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	Outros	PF
Lima (2019)	Algaroba	0,83	0,37	1,33	77,52	-	0,35	12,30	-	7,3	-
Melo (2012)	Algaroba	1,04	0,55	0,35	53,19	-	0,50	10,11	-	4,45	29,81
Vaske (2012)	Eucalipto	3,45	1,00	1,67	48,99	0,32	2,00	6,11	0,15	11,1	25,21
Andersen et al. (2010)	-	22,22	5,09	2,78	43,03	2,85	3,34	10,75	0,29	9,65	-

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

SiO₂: óxido de silício; Al₂O₃: óxido de alumínio; TiO₂: óxido de titânio; CaO: óxido de cálcio; Na₂O: óxido de sódio; Fe₂O₃: óxido de ferro; K₂O: óxido de potássio; SO₃: óxido de enxofre; PF: perda ao fogo.

Lima (2019) estudou sobre a incorporação da cinza de madeira para a produção de concreto autoadensável e para ensaiá-la quimicamente foi utilizado o método de fluorescência de raios-X. Diante da quantidade relativamente alta de óxido de potássio, o autor optou por ensaiar os agregados mediante a sua reatividade a fim de observar a possibilidade de ocorrer uma reação álcali-agregado, devido a quantidade deste elemento presente no resíduo.

Vaske (2012), em sua pesquisa sobre a viabilidade do uso de cinza de madeira produzida em caldeira como adição no concreto, observou que a presença dos óxidos de cálcio, sílica, ferro e alumínio, são elementos essenciais para que um material seja considerado pozolânico. Contudo, vale ressaltar que a presença desses elementos em um percentual baixo na composição do material não implica no desenvolvimento deste efeito (GOYAL et al., 2019).

Andersen et al. (2010) estudaram a cinza de madeira de modo geral e observaram que há uma variação na composição química do subproduto. Este fato pode ser explicado pela diversidade de madeira que é utilizada como combustível nas caldeiras. No entanto, nota-se que a quantidade de óxido de cálcio é predominante, de modo que este elemento pode contribuir com a formação de cristais de silicato de cálcio, gerando assim um acréscimo de resistência mecânica em matrizes cimentícias (GOYAL et al., 2019).

O aumento da resistência à tração ocasionado pela adição de cinza de madeira em materiais de matriz cimentícia foi observado por Melo (2012), em sua pesquisa sobre o uso de cinza de

madeira como substituto parcial do cimento para a produção de argamassa. O autor conclui a partir da análise química que a presença de elementos como o óxido de cálcio, óxido de sílica e óxido de alumínio, que compõem o resíduo, contribuíram para um melhor empacotamento da mistura quando o percentual de substituição foi igual a 5%, o qual resultou em uma resistência à tração maior que a de referência.

2.3.7 Teor de matéria orgânica

A verificação do teor de matéria orgânica nos resíduos (lodo e cinza) ocorre quando amostras desses materiais são submetidas a temperaturas maiores ou iguais a 440 °C, isso permite que se observe a influência deste quesito nas propriedades como massa específica, de modo direto e na resistência à compressão indiretamente. Sendo assim, nota-se a importância de conhecer esta propriedade e a sua possível interferência nas características mecânicas dos materiais produzidos com a adição do lodo têxtil e da cinza de madeira (ALTIDIS, 2014; ANJOS, 2017; GOUVEIA; SAMPAIO; SOUZA, 2014).

a) Lodo têxtil

No Quadro 4 estão apresentados os ensaios encontrados na literatura para a observação do teor de matéria orgânica.

Autores	Métodos
Moura (2021)	Análise térmica diferencial (TGA)
Oda (2017)	Carbonização à 650 °C
Altidis (2014)	Termogravimetria (TG/DTG)
Lima, Moreira e Oliveira (2001)	Análise térmica diferencial (TGA)

Quadro 4 - Métodos - Quantidade de matéria orgânica do lodo têxtil (Adaptado pelo Autor, 2022)

Embora o lodo têxtil tenha uma variação no percentual de seus componentes químicos, uma característica comum desse resíduo é o alto teor de matéria orgânica (ALTIDIS, 2014; GOYAL et al., 2019). Diante do exposto, a utilização do lodo em matrizes cimentícias pode causar uma diminuição na resistência à compressão desses materiais, devido a quantidade de poros e maior absorção de água ocasionada por materiais com alto teor de matéria orgânica. Isto foi observado por Andrade et al. (2004) e Poon e Zan (2015).

b) Cinza de madeira

No Quadro 5 podem ser observados os métodos utilizados para encontrar o teor de matéria orgânica para a cinza de madeira

Autores	Métodos
Cardoso et al. (2020)	Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos
Couto (2018)	Calcinação a 550 °C
Leloup (2013)	Análise Termogravimétrica

Quadro 5 - Métodos para encontrar o teor de matéria orgânica (Adaptado pelo Autor, 2022).

A quantidade de matéria orgânica observada na literatura para os resíduos de cinza de madeira apresenta uma variação (4,4%-16,6%) originada pelo processo de queima, ao qual estes subprodutos foram submetidos. Espera-se que a cinza de madeira obtenha certa quantidade de matéria orgânica, já que esta deriva de um material orgânico. Desse modo, a eficiência da combustão produzida nos processos originários deste resíduo é associada à mínima presença de matéria orgânica na composição do produto da queima (CARDOSO et al., 2020; COUTO et al., 2018).

Altos teores de matéria orgânica em resíduos utilizados em matrizes cimentícias podem aumentar a absorção de água e diminuir a resistência à compressão (ANJOS, 2017). Diante disso, cinzas com um baixo teor de matéria orgânica podem favorecer um maior desempenho quando comparadas com resíduos que apresentem uma grande quantidade de matéria orgânica (COUTO et al., 2018). Além disso, a NBR 7211 (ABNT, 2022) – Agregados para concreto – Requisitos, estabelece um limite máximo de 10% em teor orgânico para materiais que substituam a areia na composição do concreto.

2.4 APLICABILIDADE DOS RESÍDUOS TÊXTEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Amaral et al. (2015), o setor têxtil no Brasil produz em média cerca de 9,2 bilhões de peças por ano e, consequentemente, resulta em uma grande quantidade de resíduos, dos quais menos da metade são reaproveitados, pois na maioria das vezes são destinados para aterros. Outra maneira utilizada para o descarte destes materiais é a sua incineração, no entanto estes métodos não são adequados pois afetam diretamente o meio ambiente de forma adversa (BANDARA et al., 2021).

Em vista disso, maneiras de reutilização destes resíduos estão sendo estudadas impulsionadas pela ideia de economia circular, que observa resíduos como fonte de recursos, contribuindo assim com o desenvolvimento sustentável (ECHEVERRIA; PAHLEVANI; SAHAJWALLA, 2019). A reutilização dos resíduos produzidos pela indústria têxtil em materiais de construção alternativos corrobora para mitigar os impactos ambientais resultantes do descarte inadequado destes subprodutos, além de minimizar os impactos gerados na extração de recursos naturais pelo setor de construção civil e, concomitantemente, na redução de gases de efeito estufa (BANDARA et al., 2021).

2.4.1 Lodo Têxtil

Haja vista a necessidade do direcionamento do lodo têxtil de forma sustentável, é apresentada na Tabela 6 algumas aplicações deste material em matrizes cimentícias, nela podem ser observados que o lodo têxtil foi substituído tanto em relação a areia (agregado miúdo), quanto ao cimento (ligante), isso é relevante, pois desse modo há uma maior possibilidade de substituições do lodo ao ser adicionado nas matrizes cimentícias.

Além disso, na Tabela 6 também pode ser observado a influência dos percentuais de substituições na resistência mecânica das matrizes cimentícias.

Tabela 6 - Uso de lodo têxtil em matrizes cimentícias

Autores	Material produzido	Material substituído	Percentual de Substituição (%)	Resistência Mecânica (MPa)
Goyal et al. (2019)	Argamassa	Cimento	0; 5; 10; 15; 20	0%=46,00; 5%=44,00; 10%=41,00; 15%=38,00; 20%=30,00.
Poon e Zhan (2015)	Bloco de concreto	Areia	0; 5,0; 10; 15	0%=34,20; 5%=23,40; 10%=4,50; 15%=4,40.
Altidis (2014)	Concreto não estrutural	Areia	0; 3; 5; 7	0%=30,00; 3%=25,00; 5%=22,50; 7%=21,00.
Balasubramanian et al. (2006)	Piso de concreto	Cimento	0; 10; 20; 30	0%=41,11; 10%=39,74; 20%=33,11; 30%=29,4.
Andrade et al. (2004)	Pasta cimentícia	Cimento	0; 10; 15; 20	0%=59,00; 10%=50,00;

15%=55,00;
20%=56,5.

Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

Na pesquisa realizada por Goyal et al. (2019), ao analisar as propriedades dos materiais incorporados com o lodo, notou-se uma maior absorção de água à medida que a quantidade de lodo foi aumentada, exceto para os corpos de provas incorporados com 5% do subproduto. Este resultado pode estar associado ao índice de finura do lodo, que pode ter possibilitado uma ocupação maior dos espaços vazios. Todavia, nas substituições maiores que 5%, o aumento da absorção de água foi explicado pelo fato de o lodo possuir em sua composição um índice alto de matéria orgânica, o que implicou em um aumento dos espaços vazios.

De acordo com os estudos realizados por Poon e Zhan (2015), sobre o reaproveitamento de lodo têxtil em blocos de concreto, tornou-se perceptível a redução da resistência à compressão nos corpos de provas à medida em que se aumentava o percentual de lodo nas amostras. Estes autores concluíram que isso ocorreu devido o nível de amônia (material contido nas tintas para tecidos) presente no resíduo têxtil, o que implicou numa desaceleração da reação de hidratação do cimento.

Além disso, para materiais de matriz cimentícia, sendo o ligante substituído parcialmente, a diminuição da resistência à compressão pode estar relacionada com uma desaceleração da reação de hidratação, pois o lodo têxtil apresenta em sua composição menor teor de óxido de alumínio e de sílica quando comparado ao cimento, implicando na diminuição da atividade pozolânica (GOYAL et al., 2019).

Em estudo realizado por Altidis (2014), observou-se que o concreto incorporado com o lodo têxtil apresentou perda de trabalhabilidade conforme aumentava-se o percentual de lodo na mistura. Isso ocorreu porque o resíduo tende a possuir massa específica menor do que a do agregado miúdo. Diante disso, ao substituir parcialmente a areia pelo lodo, faz-se necessário aumentar a relação água/cimento, a fim de manter um mesmo desempenho.

Andrade et al. (2004), em seu trabalho sobre a lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento, perceberam que a presença do lodo, tanto em substituição parcial do agregado miúdo como do ligante na argamassa, promove uma diminuição no índice de consistência da mistura, além de retardar o início da pega nas amostras. Isso aconteceu devido a quantidade de matéria orgânica presente na composição do resíduo (BALASUBRAMANIAN et al., 2006).

2.4.2 Cinza de Madeira

Os trabalhos encontrados na literatura com a incorporação da cinza de madeira em matrizes cimentícias estão apresentados na Tabela 7. Nesta tabela, pode-se observar que o resíduo foi substituído tanto em relação ao agregado miúdo (areia) quanto ao ligante (cimento) e esse fato é relevante, pois apresenta uma maior possibilidade de substituições do resíduo quando empregado nas matrizes cimentícias.

Ademais, na Tabela 7 também podem ser visualizadas a variação na resistência mecânica dos das matrizes cimentícias em virtude dos percentuais de substituição do resíduo.

Tabela 7 - Uso de cinza de madeira em matrizes cimentícias

Autores	Material produzido	Material substituído	Percentual de Substituição	Resistência Mecânica (MPa)
Akkouri et al. (2022)	Concreto	Areia	0%, 0,5%; 1%, 1,5%, 2%; 2,5%	0%=35,10; 0,5%=17,70; 1%=11,84; 1,5%=9,91; 2%=9,60; 2,5%=8,78.
Burns et al. (2019)	Argamassa de cal	Areia	0%; 10%; 20%; 30% 40%; 70%; 100%	0%=1,90; 10%=2,20; 20%=1,60; 30%=2,40; 40%=2,75; 70%=2,55; 100%=2,5.
Lima (2019)	Concreto autoadensável	Filer calcário	0%; 25%; 50%; 75%; 100%	0%=32,00; 25%=27,50; 50%=31,90; 75%=28,00; 100%=25,50.
Baptista (2018)	Concreto compactado com rolo	Areia	0%; 10%; 15%	0%=4,15; 10%=4,06; 15%=3,99. (a/c=0,45)
Chowdhury, Manyar e Suganya (2015)	Concreto	Cimento	0%; 5%; 10%; 15%; 18%; 20%	0%=34,20; 5%=33,30; 10%=32,70; 15%=35,40; 18%=32,60; 20%=29,00.
Barboza (2011)	Argamassa	Areia	0%; 5%; 10%;	0%=0,83; 5%=0,75;

Akkouri et al. (2022) observaram que os materiais de matriz cimentícia, incorporados com cinza de madeira, apresentaram uma diminuição no índice de consistência, perdendo fluidez à medida que a quantidade de cinza foi aumentada na mistura, implicando em uma menor trabalhabilidade. Esta ocorrência pode ser oriunda da morfologia da cinza que gera um maior atrito com os agregados em virtude de possuir um formato irregular, necessitando assim de mais água para atingir a mesma trabalhabilidade.

Burns et al. (2019) estudaram o efeito da cinza de madeira nas propriedades e durabilidade da argamassa de cal para rejuntamento de edifícios e perceberam que o ganho de resistência à compressão com o aumento da incorporação de cinza deve-se ao fato de o resíduo exercer atividade pozolânica. Este processo está associado à sua composição química e essa propriedade é benéfica tendo em vista que interfere na durabilidade à longo prazo. Com relação a propriedade de permeabilidade, não foram observadas diferenças significativas das argamassas incorporadas com cinza quando comparadas à amostra de referência.

Lima (2019), em sua pesquisa sobre a produção de concreto autoadensável com incorporação de cinza de madeira como fíler alternativo, observou que a resistência à compressão obteve um ganho à medida que o teor de cinza foi aumentado, para todos os percentuais (25-100%) em 1 e 7 dias, enquanto que aos 28 dias a amostra de controle obteve resultado superior às demais. Ressalta-se que a amostra que mais se aproximou da referência foi a de 50%. O aumento da resistência em 1 e 7 dias pode ter ocorrido devido a uma aceleração inicial no processo de hidratação do concreto promovido pelas cinzas. Desse modo, pode-se explicar que a cinza atua como fíler alternativo, ocasionando um aumento do empacotamento e agindo assim no concreto autoadensável como ponto de nucleação. Isso deve-se ao fato da finura dos grãos do resíduo que preenchem os vazios da mistura e aumentam a formação de cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) (MEDEIROS, 2018).

Segundo Baptista (2018), em seu estudo, a redução da resistência à compressão do concreto foi causada pela maior absorção de água pelo resíduo na mistura, aumentando a porosidade da amostra, diminuindo assim a quantidade água para a reação com o cimento.

No estudo desenvolvido por Chowdhury, Manyar e Suganya (2015), o concreto produzido com incorporação de cinza de madeira em substituição parcial do cimento apresentou menor

resistência à compressão quando comparado a amostra de controle à medida que o teor de cinza foi acrescido na mistura. Apesar da cinza apresentar atividade pozolânica, a resistência mecânica das misturas com o resíduo foi menor do que a de controle.

Barboza (2011) optou por utilizar concomitantemente o lodo têxtil e a cinza de lenha em substituição parcial ao agregado miúdo para a produção de argamassa. O ensaio de compressão apresentou um acréscimo na resistência mecânica quando comparada à referência para os percentuais 5% de lodo e 10% de cinza. Este fato deve-se à promoção do efeito filer e maior compactidade oriundos da adição da cinza. Além disso, o resíduo desenvolveu atividade pozolânica, agindo como material ligante e interferindo positivamente na reação de hidratação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os materiais e métodos que foram utilizados nesta pesquisa. Na Figura 3 está apresentado o fluxograma com a descrição do processo.

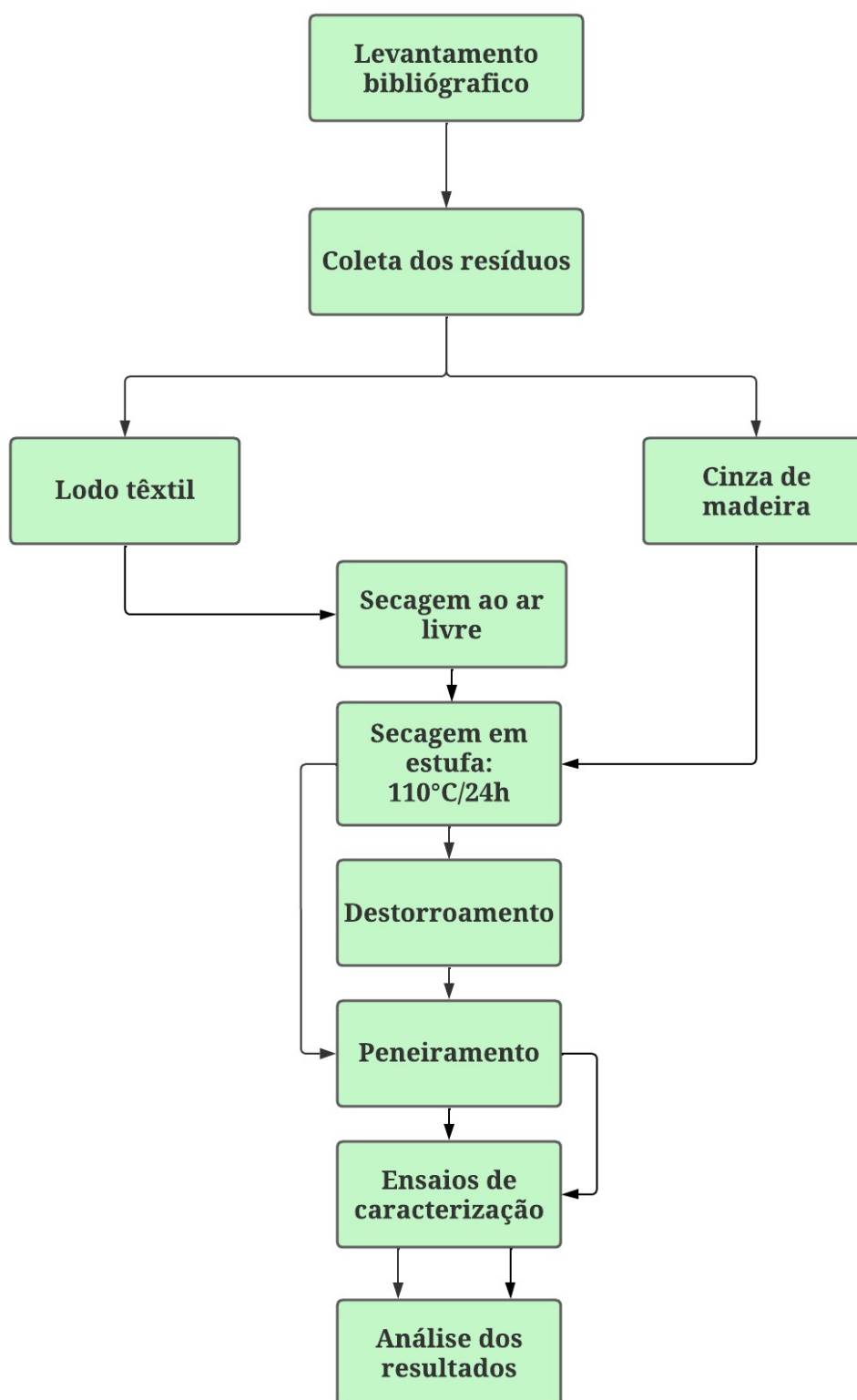


Figura 3: Fluxograma da Pesquisa (O Autor, 2022)

3.1 MATERIAIS

Para a caracterização dos resíduos, foram utilizadas normas técnicas vigentes listadas no tópico a seguir. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Sergipe, campus Estância e no Laboratório de Química da Universidade Estadual de Santa Catarina. A Figura 4 expressa os ensaios de caracterização realizados.

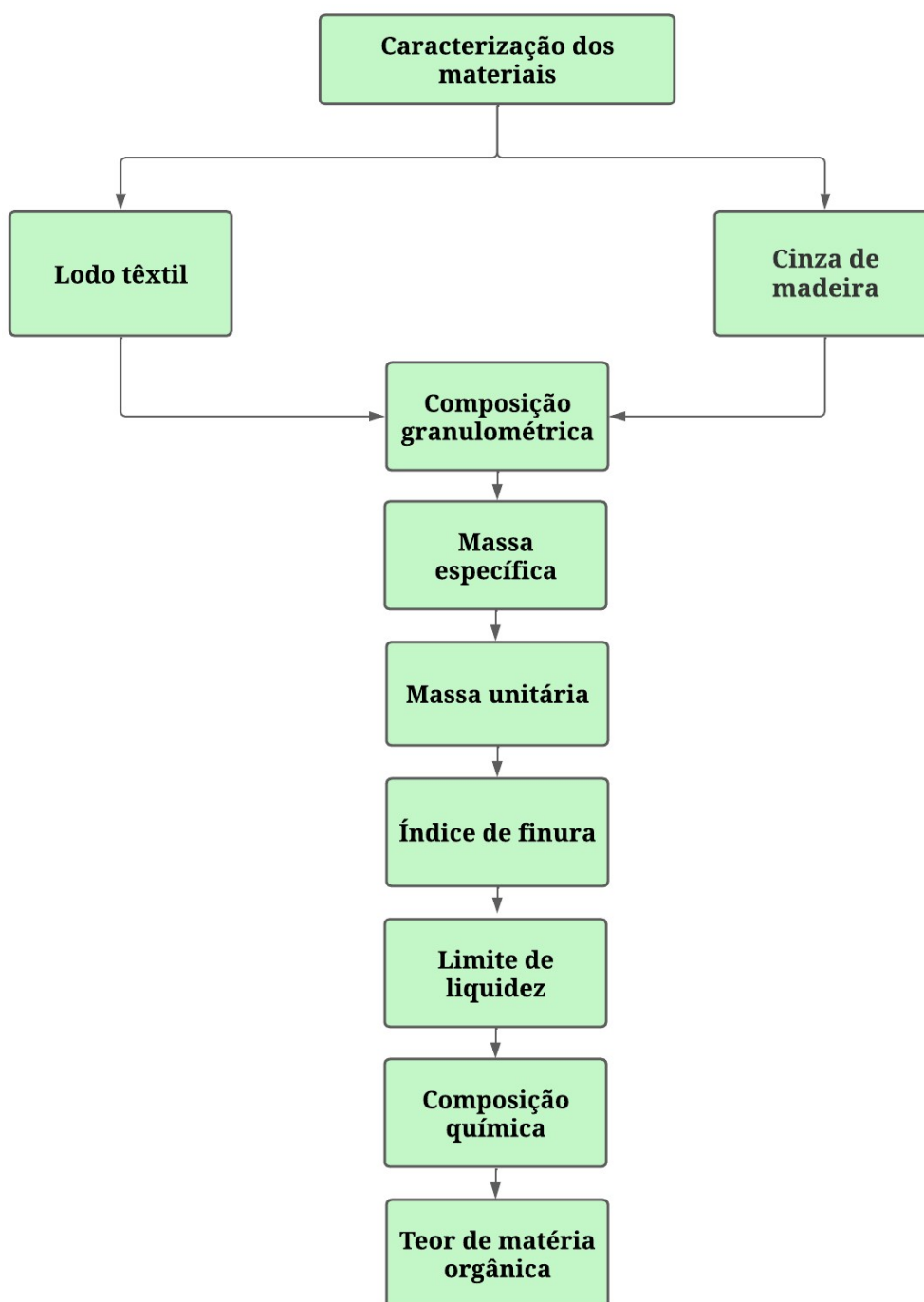


Figura 4: Fluxograma dos ensaios de caracterização dos resíduos (O Autor, 2022)

3.1.1 Lodo Têxtil

O lodo têxtil utilizado foi proveniente do efluente de uma fábrica têxtil localizada no município de Estância/SE. O subproduto é gerado pela decantação dos produtos utilizados nos processos de produção dos tecidos, tais como: corantes, alvejantes, gomas, polímeros e sulfatos. O lodo têxtil pode ser observado na Figura 5.



Figura 5: Lodo têxtil (O Autor, 2022)

O material foi coletado na própria empresa em estado semissólido e, posteriormente, foi exposto sobre uma lona na área externa do laboratório de materiais de construção do IFS para secagem superficial e eliminação de odores. Em seguida, o material foi seco em estufa com 110 °C até se obter massa constante. Além disso, o resíduo passou por um processo de destorroamento com auxílio do almofariz e pilão e, em seguida, foi levado ao moedor de bolas (Figura 6) e peneiramento.



Figura 6 - Moinho de bolas (O Autor, 2022)

3.1.2 Cinza de Madeira

A cinza de madeira utilizada é oriunda do processo de combustão em uma caldeira de uma empresa do setor têxtil localizada na cidade de Estância/SE (Figura 7).



Figura 7 - Cinza de madeira (O Autor, 2022)

O subproduto, coletado no forno de aquecimento das caldeiras, foi submetido ao peneiramento (300 μm) e secagem em estufa com temperatura de 110 °C por 24 horas para dar início aos ensaios de caracterização.

3.2 MÉTODOS

Diante dos resultados experimentais de outros autores contemplados na revisão bibliográfica apresentada nessa pesquisa, foram estabelecidos os ensaios a serem adotados a fim de observar as propriedades dos resíduos.

Os ensaios de caracterização das propriedades do lodo e da cinza de madeira foram realizados segundo as normas técnicas apresentados no Quadro 4.

Propriedades	Normalização
Composição granulométrica	NBR 17054 (ABNT, 2022)
Massa específica	NBR 6458 (ABNT, 2017)
Massa unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)
Índice de finura	NBR 11579 (ABNT, 2013)
Limite de liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2016)
Lodo têxtil	
Espectroscopia por Dispersão de raios-X (EDS)	-
Cinza de madeira	
Espectroscopia por Fluorescência de raios-X (FRX)	-
Teor de matéria orgânica	NBR 13600 (ABNT, 2022)

Quadro 6 – Propriedades físicas e químicas dos resíduos (O Autor, 2022).

3.2.1 Composição Granulométrica

Para o lodo e a cinza, que são materiais pulverulentos, foram separados em duas amostras de 300g e passados nas peneiras da série normal, conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022) – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.

Após o ensaio, foi possível obter a máxima dimensão característica, como também o módulo de finura dos resíduos. Na Figura 8, podem ser visualizadas as peneiras utilizadas para a realização deste ensaio.



Figura 8- Peneiras para análise granulométrica (O Autor, 2022)

3.2.2 Massa Específica

Os resíduos foram ensaiados segundo a NBR 6458 (ABNT, 2017) – Grãos de solo que passam na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica. Foram utilizados um recipiente, água destilada à temperatura ambiente, uma balança de precisão (0,01), um pressurizador para extrair o ar e o resíduo. Inicialmente foi medida a massa do resíduo e a umidade da água, em seguida, a massa do recipiente completo com água e posteriormente a massa do recipiente contendo água com o resíduo. Este ensaio foi realizado com três amostras a fim de manter um resultado médio confiável. Na Figura 9, são apresentadas algumas etapas desse processo. As etapas (a), (b) e (c) representam respectivamente a medição da umidade da água, a extração do ar contido no recipiente antes da amostra ser pesada e o recipiente contendo água e o resíduo.

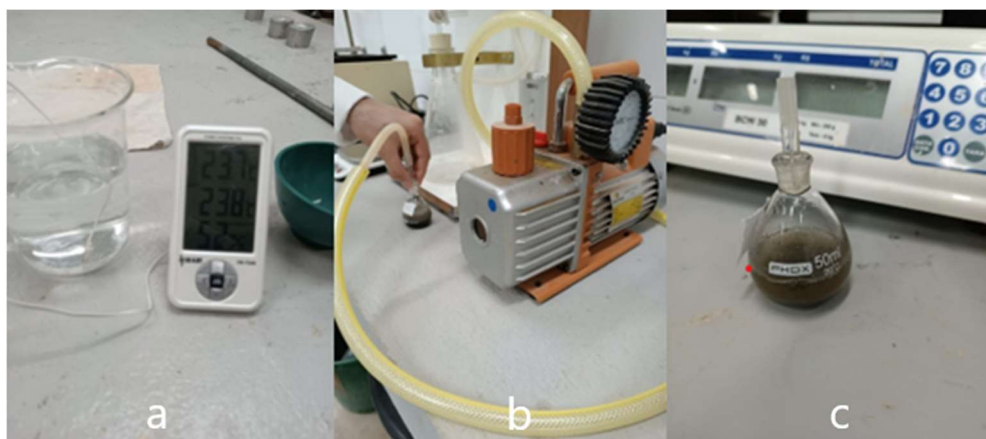


Figura 9 - Etapas do ensaio de massa específica (O Autor, 2022)

Os resultados da massa específica foram obtidos por meio da Equação 1:

$$P_s = \frac{m_1 * 100 / (100 + w)}{\left[m_1 * \frac{100}{100 + w} \right] + m_3 - m_2} \times P_{w(t)} \quad (1)$$

Em que:

P_s = Densidade dos grãos;

$P_{w(t)}$ = Densidade da água à temperatura ambiente;

w = Teor de umidade;

m_1 = massa do resíduo;

m_2 = massa do picnômetro + resíduo + água;

m_3 = massa do picnômetro + água.

3.2.3 Massa Unitária

Para a determinação da massa unitária dos resíduos, foram utilizados dois métodos (A e C) prescritos pela NBR 16972 (ABNT, 2021) – Agregados: Determinação da massa unitária e do índice de vazios.

Para o Método A, a norma estabelece que primeiramente deve-se determinar a massa do recipiente vazio. Em seguida, o recipiente deve ser preenchido com o resíduo até um terço de sua capacidade e ter sua superfície nivelada. Após isso, devem ser dados 25 golpes em toda a camada do material. Prosseguir com o preenchimento e os golpes até que o recipiente esteja completo. Por fim, medir a massa do recipiente com o resíduo.

No Método C, inicialmente deve-se determinar a massa do recipiente vazio. Em seguida, o resíduo deve ser despejado a uma altura que não exceda 50 mm para preencher o recipiente até transbordar. A superfície deve ser nivelada e então deve determinar a massa do recipiente com o resíduo.

Os resultados para a massa unitária são expressos pela Equação 2:

$$P_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (2)$$

Em que:

P_{ap} = Massa unitária;

M_{ar} = Massa do recipiente + resíduo;

M_r = Massa do recipiente vazio;

V = Volume do recipiente.

3.2.4 Índice de Finura

O índice de finura foi avaliado nos resíduos, mediante a NBR 11579 (ABNT, 2013) – Cimento Portland: Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (n° 200). Os resultados obtidos derivam da relação entre o resíduo retido na peneira e a massa total do resíduo, sendo expresso pela Equação 4:

$$I_F = \frac{r * F_c}{m} * 100 \quad (4)$$

Em que:

I_f = Índice de finura;

F_c = Fator de correção da peneira;

m = Massa total do resíduo;

r = Massa do resíduo retido na peneira.

3.2.5 Limite de Liquidez

O lodo têxtil e a cinza de madeira foram ensaiados com relação ao limite de liquidez de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 2016) – Solo – Determinação do limite de liquidez. Neste ensaio, foi

adicionado água ao material até a sua homogeneização e após essa fase uma parte do resíduo foi levada ao equipamento de Casagrande, para que fossem deferidos golpes com altura de 1 cm, até que a ranhura feita anteriormente se feche. Na Figura 10 podem ser observadas algumas etapas do processo.



Figura 10 - Ensaio Limite de Liquidez (O Autor, 2022)

O resultado para o limite de liquidez é obtido com a construção de um gráfico formado por número de golpes num eixo e teor de umidade em outro, sendo o teor de umidade em 25 golpes o valor para o limite de liquidez.

3.2.6 Composição Química

Os materiais foram ensaiados quimicamente para que se possa conhecer sua composição química, além de observar a relação com as demais propriedades a serem estudadas. O método a ser utilizado para a análise química do lodo foi a Espectroscopia por Dispersão de raios-X (EDS), pelo método Phi-Rho-Z. Esta técnica consiste na identificação dos elementos químicos a partir da emissão de um feixe de elétrons sobre a amostra sólida, implicando assim em uma colisão entre os elétrons. Desse modo, determinados elementos químicos emitem raios-X característicos.

Para a análise da composição química da cinza, foi utilizada a Espectroscopia por Fluorescência de raios-X (FRX), realizada à vácuo em uma amostra prensada em forma cilíndrica com 60 mm e 5 mm, para o diâmetro e a espessura, respectivamente. O equipamento utilizado foi um EZ Scan, do Primini Rigaku.

3.2.7 Teor de matéria orgânica

Os resíduos sólidos utilizados na pesquisa foram ensaiados com relação a sua quantidade de matéria orgânica com base na NBR 13600 (ABNT, 2022) – Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 °C, por 2 duas horas, de modo adaptado para a quantidade de horas do material na mufla. Nas Figuras 11 e 12 podem ser visualizados respectivamente os materiais antes e após irem a mufla.



Figura 11 - Resíduos antes da mufla (O Autor, 2022)



Figura 12 - Resíduos após a mufla (O Autor, 2022)

Os resultados deste ensaio são obtidos por meio da subtração de um valor unitário e a relação entre as massas da amostra queimada em mufla e seca em estufa, expresso em percentual através da seguinte equação:

$$MO = \left(1 - \frac{B}{A}\right) * 100 \quad (5)$$

Em que:

MO: teor de matéria orgânica, expresso em porcentagem (%);

A: Massa da amostra seca em estufa, expressa em gramas (g);

B: Massa da amostra queimada em mufla, à 440 °C, expressa em gramas (g).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo, estão apresentados os resultados oriundos dos ensaios realizados mediante o programa experimental utilizado nessa pesquisa. Os valores obtidos remetem a propriedades do lodo têxtil e da cinza de madeira.

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As propriedades físicas do lodo têxtil e da cinza de madeira foram avaliadas em virtude da pretensão de conhecer as possíveis influências da incorporação desses resíduos em matrizes cimentícias por meio dos seguintes ensaios: composição granulométrica, massa específica, massa unitária, índice de finura e limite de liquidez.

4.1.1 Composição Granulométrica

Os valores referentes ao ensaio para o lodo têxtil podem ser visualizados na Tabela 8 e na Figura 13 e para a cinza de madeira na Tabela 9 e na Figura 14.

Tabela 8 - Distribuição granulométrica do lodo têxtil		
Peneiras (mm)	Porcentagem (%)	
	Retida acumulada	Passante acumulado
4,75	0	100
2,36	16,13	83,87
1,18	55,69	44,31
0,6	77,78	22,22
0,3	89,71	10,29
0,15	96,15	3,85
Fundo	100,00	0
Total	100	
Dimensão máxima característica (mm)		4,75
Módulo de finura		3,35

Fonte: O Autor, 2022.

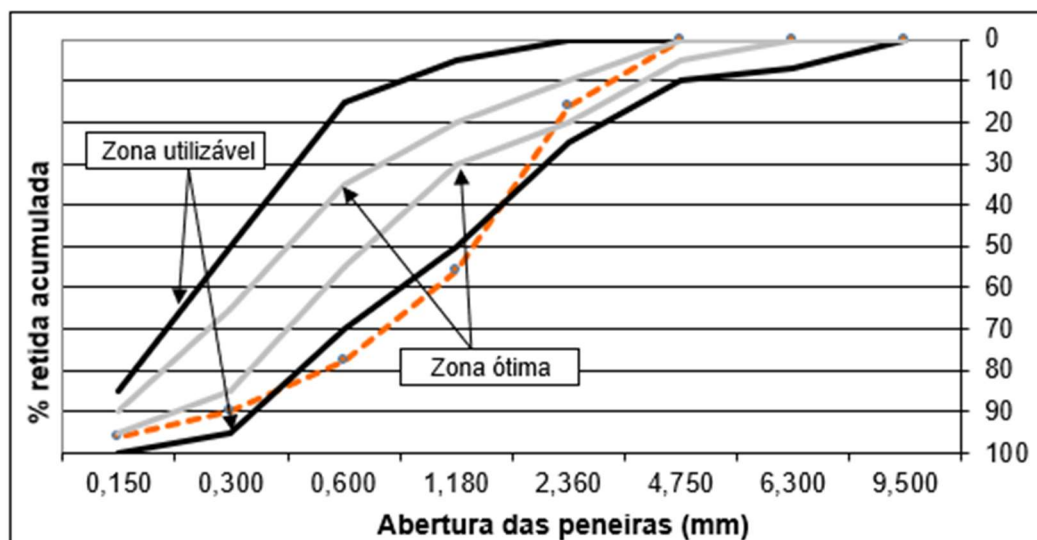


Figura 13 - Curva granulométrica do lodo têxtil (O Autor, 2022)

A NBR 7211 (ABNT, 2022) – Agregados para concreto – Requisitos define os limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo e estabelece uma variação relacionada ao módulo de finura do material para que este seja classificado entre as zonas utilizavel inferior, ótima e superior. O resultado obtido para o lodo têxtil referente ao módulo de finura foi igual a 3,35 e, com esse valor, o resíduo enquadra-se na zona utilizavel superior que tem variação do módulo de finura entre 2,90 e 3,50.

Por meio dos dados de distribuição granulométrica contidos na Tabela 8 e com base na NBR 7215 (ABNT, 2019) – Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos, o lodo têxtil possui em sua maioria grãos que são classificados como areia grossa (55,69%).

O lodo têxtil utilizado nessa pesquisa possui granulometria mais grossa quando comparado com outros trabalhos presente na literatura, como é o caso dos trabalhos de Moura (2021) que observou que 97,15% do resíduo possui diâmetro infeior a 80 μm e Leloup (2013) que obteve módulo de finura igual a 0,93. No entanto, esta característica não impede o material de ser utilizado em matrizes cimentícias como subtituto parcial do agregado miúdo, tendo em vista que os tamanhos dos grãos do resíduo são classificados em frações distintas de areia.

Os resultados referentes a cinza de madeira para a composição granulométrica quanto a porcentagem retida e passante, além do módulo de finura e dimensão máxima característica, são apresentados na Tabela 9 e a curva granulométrica na Figura 14.

Tabela 9 - Distribuição granulométrica da cinza de madeira

Peneiras (mm)	Percentual (%)	
	Retida	Passante acumulado
4,75	0	100
2,36	0	100
1,18	8,06	91,94
0,6	44,40	47,54
0,3	39,22	8,32
0,15	6,65	1,67
Fundo	1,67	0
Total	100	
Dimensão máxima característica (mm)		2,36
Módulo de finura		2,50

Fonte: O Autor, 2022.

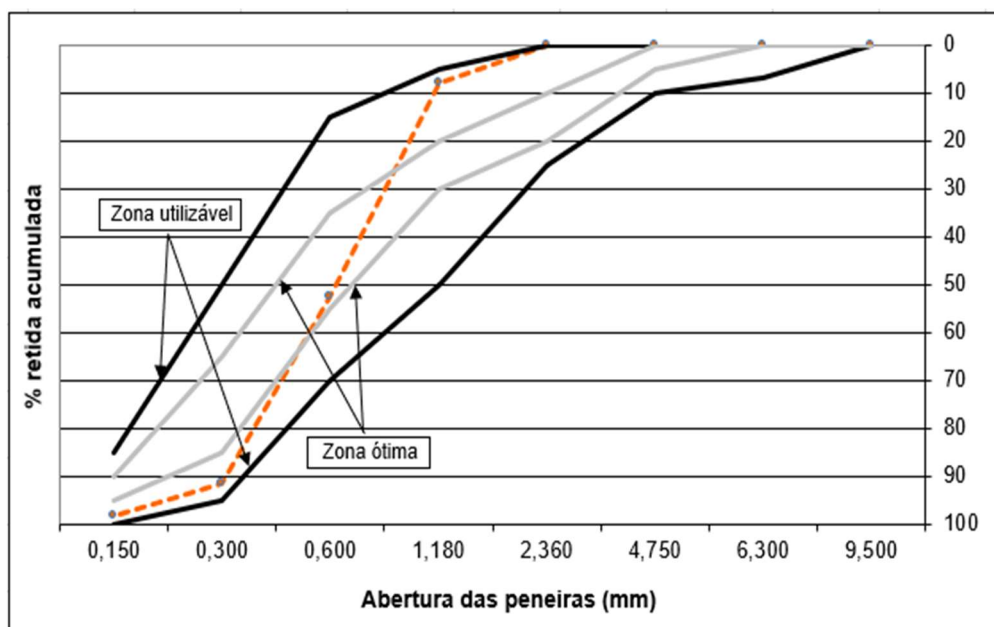


Figura 14 - Curva granulométrica da cinza de madeira (O Autor, 2022)

Em relação a distribuição granulométrica, o resíduo obteve diâmetro máximo de 1,18 mm e módulo de finura igual a 2,50 e, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), o resíduo detém classificação na zona ótima, a qual varia os módulos de finura entre 2,20 a 2,90.

A granulometria observada no ensaio da cinza de madeira utilizada nessa pesquisa obteve aspecto mais grosseiro que nos trabalhos realizados por Leloup (2013) que apresentou módulo de finura igual a 1,30, Pires (2016) que observou que a cinza tem sua maior porção distribuída entre 10 e 15 micrômetros e Moura (2017), em que 65% do resíduo passou na peneira 0,075 mm. No entanto, esta condição não inviabilizou a aplicação do resíduo em matrizes

cimentícias. A inserção do resíduo na zona ótima favorece a utilização da cinza de madeira em matrizes cimentícias devido a sua semelhança granulométrica com o agregado miúdo.

4.1.2 Massa Específica, Massa Unitária, Índice de Finura e Limite de Liquidez

Com relação a massa específica, massa unitária e índice de finura dos resíduos os resultados podem ser observados tanto para o lodo como para a cinza nas Tabela 10 e 11

Tabela 10 – Propriedades físicas do Lodo Têxtil

Propriedade	Resultado	Desvio Padrão
Massa Específica (g/cm ³)	1,80	0,016
Massa Unitária (g/cm ³)	Compactada: 0,91 Solta: 0,85	Compactada: 0,005 Solta: 0,006
Índice de Finura (%)	96,34	-
Limite de Liquidez (%)	Não Plástico	-

Fonte: O Autor, 2022.

A massa específica do subproduto foi aferida com a utilização do picnômetro, assim como proposto por autores como Prim (1998) e Vermollen (2021). O resultado de 1,80 g/cm³ obtido torna-se coerente com demais presentes na literatura, tendo em vista o valor intermediário entre os observados por Leloup (2013) de 1,78 g/cm³ e Vermollen (2021) de 1,84 g/cm³. As divergências dos valores advindos para a massa específica deste material podem ser oriundas dos métodos utilizados para o tratamento de cada efluente têxtil, os quais dão origem a este resíduo (VERMOLLEN, 2021). De acordo com Prim (1998) a baixa massa específica do lodo, relaciona-se com a quantidade de água e matéria orgânica presente neste material.

Ademais, nos trabalhos presentes na literatura sobre o lodo têxtil foi possível observar que este subproduto possui menor massa quando comparado com o cimento e areia. Desse modo, é possível que matrizes cimentícias produzidas com um percentual de lodo têxtil sejam mais leves do que as convencionais.

O resultado de massa unitária para o lodo foi aferido por dois métodos: compactado e solto. Os valores correspondentes à esse quesito para o lodo têxtil são menores quando comparados aos da areia encontrados na literatura. Dentre esses trabalhos, a areia apresenta valores que variam de 1,38 a 1,74 g/cm³ (TRISTÃO, 1995 apud CARNEIRO; CINCOTTO; JOHN, 1997; MOLIN; TUTIKIAN, 2011). Há uma tendência de melhor desempenho gerada pelo aumento da massa unitária dos agregados (CARNEIRO; CINCOTTO; JOHN, 1997).

O índice de finura obtido para o lodo têxtil foi de 96,34%. Assim, percebe-se que este subproduto não possui uma alta quantidade de finos e mantém uma distância relevante em relação aos índices de finura encontrados na literatura para os cimentos, que em média possuem

um índice de finura igual a 2,56% (ALVES; COUTO JUNIOR, 2017; NUNES, 2020). Diante do exposto, compreende-se que o lodo têxtil apresenta características que dificultam a sua aplicação como substituto do cimento em matrizes cimentícias. Entretanto, há a possibilidade deste material ser empregado em substituição a areia, tal como é proposto por Altidis (2014) e Poon e Zhan (2015).

O lodo têxtil utilizado no ensaio de limite de liquidez apresentou certa resistência ao ser homogeneizado. Quando disposto no aparelho de Casagrande e dividido ao meio para a aplicação dos golpes, o material teve sua ranhura fechada com apenas 7 golpes. Em virtude disso, concluiu-se que o lodo têxtil é um material não coesivo, sem plasticidade (não plástico). Resultado semelhante foi encontrado por Vermollen (2021), que discorre que esta reação pode estar associada a grande quantidade de matéria orgânica presente no resíduo. Esta característica não impossibilitou a aplicação do resíduo e a obtenção de resultados satisfatórios como base e sub-base de pavimentos nos trabalhos de Oliveira (2014) e Kelm (2014).

Os resultados para as propriedades físicas da cinza de madeira podem ser observados a seguir.

Tabela 11 – Propriedades físicas da Cinza de Madeira

Propriedade	Resultado	Desvio Padrão
Massa Específica (g/cm ³)	2,84	0,014
Massa Unitária (g/cm ³)	Compactada: 0,57 Solta: 0,49	Compactada: 0,002 Solta: 0,016
Índice de Finura (%)	18,04	-
Limite de Liquidez (%)	Não Plástico	-

Fonte: O Autor, 2022.

O valor referente a massa específica encontrado para a cinza mantém coerência com os presentes na literatura, pois é um valor intermediário entre os encontrados por Lima (2019) de 2,76 g/cm³ e Leloup (2013) de 2,89 g/cm³.

Nos trabalhos presentes na literatura sobre a adição da cinza de madeira em matrizes cimentícias, percebe-se que o resíduo possui massa específica maior do que a do agregado miúdo e menor que a do cimento. Segundo Couto et al. (2018), a elevada massa específica da cinza está associada ao alto teor de óxido de cálcio comumente presente na composição do resíduo.

Desse modo, os materiais produzidos com a adição do resíduo podem ser mais densos, em caso de substituição ao agregado miúdo, tal como é observado por Couto et al. (2018), ou mais leves quando substituídos em relação ao cimento, assim como constatado por Melo (2012).

A cinza de madeira apresentou uma massa unitária menor do que a do lodo têxtil. Materiais que apresentam uma maior massa unitária promovem uma diminuição na quantidade necessária de ligante na mistura, implicando assim em uma economia de cimento em matrizes cimentícias (CARNEIRO; CINCOTTO; JOHN, 1997).

Para a cinza de madeira, o índice de finura obtido no ensaio correspondeu a 18,04%. Por meio dos resultados encontrados para os resíduos utilizados nessa pesquisa, nota-se que a cinza de madeira é um material mais fino que o lodo têxtil. Apesar disso, persiste uma defasagem quando esse resultado é comparado aos valores encontrados para o cimento. Em virtude disso, o direcionamento da cinza da madeira em substituição a areia aparenta ser uma medida mais viável na aplicação deste resíduo em matrizes cimentícias.

A utilização da cinza de madeira em substituição parcial a areia em matrizes cimentícias pode ser encontrada na literatura, sendo proposta por autores como Akkouri et al. (2022), Barboza (2011) e Burns et al. (2019). Melo (2012), em sua dissertação, concluiu que a cinza de madeira pode ser substituída em relação ao cimento em até 10%. Akasaki et al. (2017) observaram que a substituição da areia por cinza em até 30% apresentou resultados pertinentes.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os ensaios químicos são apresentados pelas Tabelas 12 e 13, sendo a primeira para o lodo e a segunda para a cinza de madeira. O ensaio de Espectroscopia por Dispersão de raios-X (EDS) para o lodo têxtil pode ser visualizado na Figura 15, já para a cinza de madeira os resultados foram obtidos por Fluorescência de raios-X (FRX).

Os óxidos que compõe o lodo têxtil utilizado nesta pesquisa podem ser observados na Tabela 12. Ressalta-se que a variação dos elementos do resíduo está relacionada com os tratamentos aplicados em cada etapa do processo fabril

Tabela 12 - Composição Química do Lodo Têxtil

MATERIAL	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	PF
Lodo (%)	4,70	9,95	27,07	7,85	5,25	2,25	0,83	42,10

Fonte: O Autor (2022)

A partir da composição, é possível observar que o lodo têxtil possui uma elevada perda ao fogo, a qual pode estar relacionada ao alto teor de matéria orgânica presente no resíduo. Levando em conta apenas o percentual de óxidos, o subproduto é composto majoritariamente por óxido de alumínio (Al₂O₃), além de quantidades relativas de óxidos de silício (SiO₂) e ferro (Fe₂O₃), elementos que contribuem para que um material seja considerado pozolânico. No entanto, a NBR 12653 (ABNT, 2015) – Materiais pozolânicos – Requisitos, estabelece um limite mínimo

de 70% da presença dos óxidos de alumínio, ferro e silício, além de uma perda ao fogo menor que 10%, para que um material seja considerado pozolânico. Desse modo, o lodo têxtil ensaiado não atende aos requisitos mínimos para ser considerado um material pozolânico. Todavia, há a possibilidade deste material ser submetido a um tratamento térmico, a fim de se observar se as condições para o desenvolvimento do efeito pozolânico serão atendidas. Os elementos constituintes do lodo têxtil utilizado nesta pesquisa estão de acordo com outros trabalhos presentes na literatura (ALTIDIS, 2014; ANJOS, 2017; BARBOZA, 2011; LELOUP, 2013; MOURA, 2021).

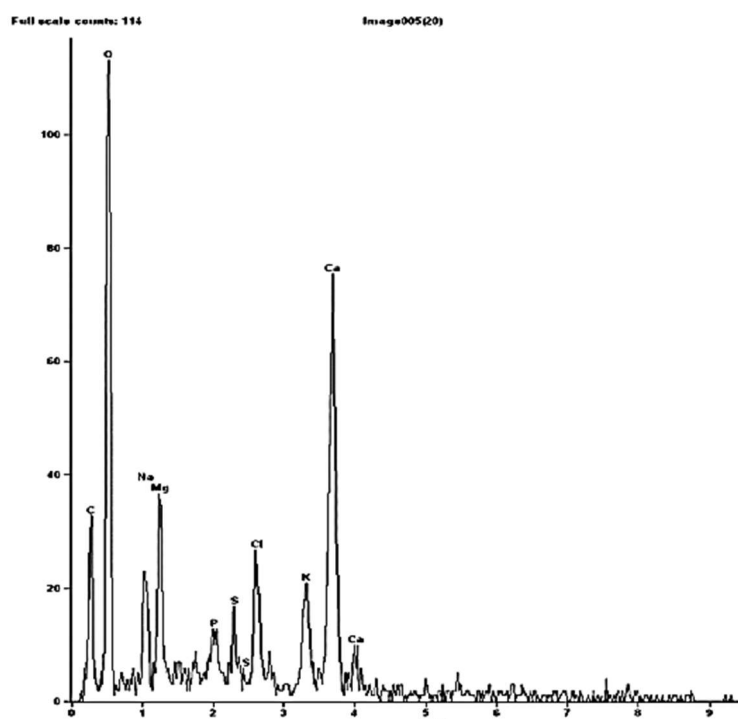


Figura 15 - Espectroscopia por Dispersão de raios-X (EDS) (O Autor, 2022)

Por meio da Espectroscopia por Dispersão de Raios-X (EDS) do lodo têxtil, puderam ser identificadas as presenças de: cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono (C), cloreto (Cl), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S) e fósforo (P). A presença desses elementos também foi observada nos trabalhos realizados por Almeida e Carvalho (2010) e Martins (2011). De acordo com Oliveira (2014), a presença de cálcio no resíduo influencia positivamente nas propriedades de dureza quando o material é aplicado em matrizes cimentícias.

Os resultados contendo a composição química da cinza de madeira podem ser vistos na Tabela 13. Ressalta-se que a variação dos elementos que compõe a cinza de madeira deriva do tipo de madeira, a qual deu origem a cinza.

Tabela 13 - Composição Química da Cinza de Madeira

MATERIAL	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	PF
Cinza de Madeira (%)	15,45	4,58	0,46	2,26	4,34	6,25	8,79	57,87

Fonte: O Autor (2022)

A partir da composição química, nota-se que a cinza de madeira apresenta também uma alta tendência a perda ao fogo. Ao considerar apenas os percentuais de óxidos, o principal componente do resíduo é o óxido de cálcio (CaO) juntamente com demais óxidos como o de potássio (K₂O), Magnésio (MgO) e Silício (SiO₂). Estes resultados estão de acordo com Moura (2017) e Barboza (2011). A presença dos óxidos de cálcio e silício indicam compatibilidade com matrizes cimentícias (ARRUDA et al., 2017, apud ALTIDIS, 2014). Reitera-se que a presença do silício pode promover novas fases cristalinas durante o processo de hidratação do cimento (BARBOZA, 2011).

Barboza (2011) discorre que, o teor de cálcio e silício presentes no material associam-se ao carbonato e hidróxido de cálcio e a fase cristalina do quartzo. Além disso, a quantidade relevante de potássio indica que a cinza de madeira ao ser empregada em matrizes cimentícias pode promover a manutenção dos álcalis no cimento. Dessa maneira, um pH alto é propício as reações de hidratação do cimento.

4.2.1 Teor de Matéria Orgânica

O valor resultante do ensaio de quantidade de matéria orgânica para o lodo têxtil foi de 47%, de modo a estar de acordo com a perda de fogo proposta no ensaio químico equivalente a 42,10%. O resultado elevado obtido para a perda ao fogo dava indícios de um alto teor de matéria orgânica para o lodo. Após o ensaio, o subproduto apresentou mudança na sua coloração; antes do ensaio, o material encontrava-se em uma coloração preta, no entanto ao sair da mufla sua coloração era alaranjada. Este aspecto dar-se devido a perda da matéria orgânica do lodo têxtil e da quantidade relevante (7,85%) de óxido de ferro (Fe₂O₃) na composição química do material.

Um alto teor de matéria orgânica presente no lodo têxtil já era esperado. Com base na literatura o lodo têxtil possui em média 40% de matéria orgânica. Este quesito não impediu que o material obtivesse resultados satisfatórios quando aplicado em matrizes cimentícias.

A cinza de madeira utilizada na pesquisa obteve um resultado referente ao teor de matéria orgânica igual a 6,44%. Mesmo este resíduo sendo oriundo de um material orgânico, este

resultado expressa que o processo de combustão que deu origem ao subproduto ocorreu de maneira eficaz.

A baixa quantidade de matéria orgânica presente na cinza de madeira é um bom indicador para materiais que são utilizados para a aplicação em matrizes cimentícias, tendo em vista que materiais com alto teor de matéria orgânica promovem uma maior quantidade de poros, implicando assim em materiais com maior absorção de água e menor resistência à compressão (ANJOS, 2017).

5 CONCLUSÃO

Inicialmente, nota-se que foi possível caracterizar os resíduos provenientes de uma empresa do setor têxtil de Estância, tanto o lodo têxtil como a cinza de madeira, em relação as suas propriedades físicas e químicas. Por meio da comparação dos valores encontrados nesta pesquisa com os existentes na literatura, torna-se perceptível que estes resíduos possuem características que os permitem serem utilizados em matrizes cimentícias. Acredita-se que um maior percentual desses resíduos possa ser utilizado como substituto parcial do agregado miúdo sem causar prejuízos significativos ao desempenho do produto final.

Entretanto, as pesquisas existentes na literatura que discorrem sobre a incorporação do lodo têxtil em materiais de matriz cimentícia acentuam que é importante atentar-se a uma aplicação limitada de 10% deste resíduo, tendo em vista que este valor não ocasionou perdas significativas nas propriedades das matrizes cimentícias. As perdas de desempenho oriundas da incorporação deste subproduto podem estar associadas à quantidade de matéria orgânica que compõe o lodo têxtil, porquanto geram aumento na absorção de água e na quantidade de poros.

Em relação à cinza de madeira, observa-se que a sua incorporação em substituição parcial ao agregado miúdo em materiais de matriz cimentícia, até um determinado percentual (10%-15%), gera um aumento da resistência à compressão, haja vista que a finura dos grãos deste subproduto interfere de forma positiva no preenchimento dos poros do material, de modo a aumentar a compacidade da mistura. Além disso, no quesito da composição química do resíduo, nota-se quantidade significativa de óxido de cálcio (CaO), fato este que implica a maior probabilidade de formação de cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Isto pode ocasionar uma aceleração no processo de hidratação do concreto e assim melhorar o desempenho mecânico do material.

Diante do exposto, as caracterizações do lodo têxtil e da cinza de madeira permitiram conhecer as propriedades desses materiais e assim direcioná-los como recursos alternativos para a aplicação em matrizes cimentícias de modo a contribuir com a sustentabilidade do município de Estância e região, tendo em vista o descarte adequado para os resíduos associado a uma minimização da extração dos recursos naturais.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesse tópico, recomendam-se temas que não puderam ser abordados nessa pesquisa para trabalhos futuros:

- Ampliar a quantidade de ensaios para verificar as demais propriedades dos resíduos a fim de compreender por meio de um maior espaço amostral as características do lodo têxtil e da cinza de madeira;
- Avaliar a influência gerada pela aplicação distinta dos resíduos abordados nesta pesquisa em matrizes cimentícias;
- Estudar a incorporação concomitante de lodo têxtil e cinza de madeira em matrizes cimentícias, a fim de observar a influência desses resíduos nas propriedades dos materiais;
- Pesquisar outros resíduos oriundos da cidade de Estância/SE e submetê-los a uma metodologia semelhante a abordada nesta pesquisa;
- Estudar a durabilidade de matrizes cimentícias que foram produzidas com os resíduos abordados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABDULKAREEM, O.A. et al. Production of geopolymer mortar system containing high calcium biomass wood ash as a partial substitution to fly ash: An early age evaluation. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, 2019, Artigo 106941;
- AIBIAJAWI, M.I.; EMBONG, R.; MUTHUSAMY, K. An overview of the utilization and method for improving pozzolanic performance of agricultural and industrial wastes in concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 48, n. 4, 2022, p. 778-783;
- AKKOURI, N., et al. Study of the effect of wood waste powder on the properties of concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 58, n. 4, 2022, p. 1459-1463;
- ALMEIDA, P.H.S.; FRANCO, J.M.; TAVARES, C.R.G. Influência do tipo de argila no processo de solidificação/ estabilização de lodo têxtil. **Cerâmica**, v. 61, 2015, p. 137-144;
- ALMEIDA, V.C.; CARVALHO, L.J. Estudo da corrosividade de pastas de cimento com adição de lodo produzido em ETES da indústria têxtil. INTERCORR, ABRACO, 2010;
- ALTIDIS, Marina Elizabeth Dias. **Desenvolvimento de compósitos utilizando lodo da indústria têxtil na produção de concreto não estrutural**. 2014. 110 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2014;
- ALVES, S.A.M.; COUTO JUNIOR, O.M. Análise do comportamento mecânico de concretos após a incorporação de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar e carvão ativado de osso bovino. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 9, n. 3, 2017, p. 212-233;
- AMARAL, M.C. et al. Reciclagem de resíduos do setor têxtil e confeccionista no Brasil: panorama e ações relacionadas. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, 2015, p. 50-69.
- ANANDARAJ, S. et al. A novel approach on usage of waste sludge from textile dyeing units in paver block manufacturing. **Materials Today: Proceedings**, v. 52, n. 3, 2022, p. 1952-1958;
- ANDERSEN, K. et al. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v. 89, n. 5, 2010, p. 913-933;
- ANDRADE, C.M.G. et al. Lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 1, 2004, p. 45-52;
- ANJOS, D.C. **Estudo sobre a influência do lodo têxtil gerado por uma lavanderia industrial, aplicado em argamassa de cimento portland composto de filer**. 2017. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Joinville, 2017;
- AQUINO, R.C. et al. Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 10, n. 1, 2015, p. 29–35;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Relatório de Atividades**. São Paulo: ABIT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 2000;

_____. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2022;

_____. **NBR 6458**: Grãos de solo que passam na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 2016;

_____. **NBR 7181**: Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro. 2016;

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro. 2004;

_____. **NBR 10834**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro. 2012;

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro. 2012;

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro. 2015;

_____. **NBR 15894-3**: Metacaulin para uso no cimento Portland em concreto, argamassa e pasta – parte 3: Determinação da finura por meio da peneira 45 μm Rio de Janeiro. 2010;

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017;

_____. **NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021;

_____. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Anuário**. Rio de Janeiro: ANEPAC, 2013. Disponível em: <<http://www.anepac.or.br>>. Acesso em: 03/05/2022;

AVELAR, N.V. et al. Evaluation of briquetes made from textile industry solid waste. **Renewable Energy**, v. 91, 2016, p. 417-424;

BALASUBRAMANIAN, J. et al. Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials. **Waste Management**, v. 26, 2006, p. 22–28;

BAN, C.C.; RAMLIN, M. The Implementation of Wood Waste Ash as a Partial Cement Replacement Material in the Production of Structural Grade Concrete and Mortar. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, 2011, p. 669-685;

BANDARA, U.A.A.N. et al. An environmentally friendly sound insulation material from post - industrial textile waste and natural rubber. **Journal of Building Engineering**, v. 33, 2021, Artigo 101606;

BAPTISTA, Karine da Veiga. **Substituição parcial do agregado miúdo por cinza de madeira em concreto compactado com rolo**. 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Joinville, 2018;

BARBOZA, Arthur Aurélio Santana. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com adição concomitante de cinzas de lenha e lodo têxtil gerados no APL de confecções de Pernambuco**. 2011. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, 2011;

BARROS, A.D. et al. Evaluation of calcined textile sludge as a stabilizing material for highway soil. **Journal of traffic and transportation engineering**, v. 7, n. 5, 2020, p. 688-899;

BARROS, Sandy Toledo de.; JESUS, Stefanny Luciane.; LIMA, Katiele de Souza. **Caracterização da cinza de eucalipto para aplicação em pavimentos flexíveis**. 2021. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2021;

BASTIAN, E.Y.O. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil** - Série P+L. São Paulo. 2009. p. 81;

BERGAMASCO, R. et al. Estudos preliminares sobre estabilização/solidificação – e/s – de lodo de tratamento de lavanderia têxtil para reutilização como argamassa de construção: exame de caso para Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 6, 2002, p. 1659-1664;

BOAVENTURA, R.A.R. et al. Incorporation of ozone-driven processes in a treatment line for a leachate from a hazardous industrial waste landfill: Impact on the bio-refractory character and dissolved organic matter distribution. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, 2021. Artigo 105554;

BRONOSKI, M. et al. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, v. 38, n. 3, 2008, p. 487-493;

BURNS, C. et al. The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings. **Construction and Building Materials**, v. 212, 2019, p. 500-513;

CABALA, G.E. et al. Influência da granulometria e formato de partículas de agregados miúdos originados da britagem de rochas em substituição à areia natural na confecção de matriz cimentícia. **57º Congresso Brasileiro do Concreto**, 2015, ISSN 2175-8182;

CARDOSO, E.P. et al. Avaliação agronômica dos elementos minerais da cinza vegetal proveniente do distrito industrial cerâmico de São Miguel do Guamá. **V Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 2020, ISSN 2526-7701;

CARNEIRO, A.M.P.; CINCOTTO, M.A; JOHN, V.M. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassas. **Ambiente Construído**, v. 1, n. 2, 1997, p. 37-44;

CARNEIRO, A.M.P. et al. Caracterização de lodo produzido nas lavanderias têxteis da região Agreste de Pernambuco para uso em materiais de construção alternativos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021, não paginado;

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. v.1, nov. 2014. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br>. Acesso em 15/05/2022;

CENTENARO, S.H.; SILVA, J.A.G.; PAULINO, R.S. Uso de cinzas de biomassa geradas na agroindústria do malte para produção de argamassas. **Revista Internacional de Ciências**, v. 11, n. 2, 2021, p. 158-176;

CHAVAN, S. et al. A review on production of polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolyesters by thermophilic microbes using waste feedstocks. **Bioresource Technology**, v. 341, 2021, Artigo 125900;

CHOWDHURY, S.; MANIAR, A.; SUGANYA, O. M. Strength development in concrete with wood ash blended cement and use of soft computing models to predict strength parameters. **Journal of Advanced Research**, v. 6, n. 6, 2015, p. 907-913;

CONCEIÇÃO, A.L. A Cidade de Estância sob o Olhar no Tempo-Espaço da Fábrica. **Scientia Plena**, v. 4, n. 12, 2008, Artigo 125401;

CORDEIRO, G.C.; KURTIS, K.E. Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. **Cement and Concrete Research**, v. 97, 2017, p. 41-49;

COUTO, A.F. et al. Avaliação preliminar dos efeitos da substituição parcial do agregado miúdo por Cinza de Madeira de Eucalipto (CME) nas propriedades das argamassas. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 5, n. 2, 2018, p. 84-98;

DEROGAR, S.; INCE, C.; TAYANÇLI, S. Recycling waste wood in cement mortars towards the regeneration of sustainable environment. **Construction and Building Materials**, v. 299, 2021, Artigo 123891;

ECHEVERRIA, C.; PAHLEVANI, F.; SAHAJWALLA, V. Mechanical particle size reduction methods as potential interfacial optimization alternative for a low-carbon particulate reinforced marine bio-composite. **Journal of Cleaner Production**, v. 221, 2019, p. 509-525;

FEITOSA, C.O.; MELO, R.O.L.; SUBRINHO, J.M.P. Indústria e Desenvolvimento em Sergipe. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 2, 2009, p. 331-343;

FERREIRA, Milena das Neves. **Incorporação de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de lavanderia industrial em cerâmica vermelha**. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2018;

FLORES, J. et al. Re-use of drinking water treatment plant (DWTP) sludge: Characterization and technological behaviour of cement mortars with atomized sludge additions. **Cement and Concrete Research**, v. 40, n. 5, 2010, p. 778-786.

GLUITZ, Adriana Cristina; MARAFÃO, Daiana. **Utilização da cinza de madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento portland em argamassa**. 2013. 53 f. Trabalho

de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013;

GONÇALVES, C.F.; PAULA, H.M.; SOARES, A.F. Caracterização e viabilidade de utilização de cinzas de biomassa vegetal em argamassa. **Revista ALCONPAT**, v. 11, n. 2, 2021, p. 1-16;

GOUVEIA, B.G.; SAMPAIO, Z.L.M.; SOUZA, P.A.B.F. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 7, n. 4, 2014, p. 626-647;

GOYAL, S. et al. Utilization of textile sludge in cement mortar and paste. **Construction and Building Materials**, v. 214, 2019, p. 169-177;

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Painel da Geração de Resíduos no Brasil**. Brasília: IBAMA, 2020.

JOSHI, A.M. et al. Influence of retempering on properties of concrete made with manufactured sand and industrial waste. **Cleaner Materials**, v. 4, 2022, Artigo 100060;

DIAS JÚNIOR, Mauro Lúcio. **Incorporação de lodo têxtil em blocos cerâmicos**. 2013. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2013;

LAGETEC – LABORATÓRIO DE GEOTÉCNICA. **Determinação do limite de liquidez**. Mar, 2016. Disponível em: <http://www.lagetec.ufc.br>. Acesso em: 11/11/2022;

LELOUP, Wilma de Albuquerque. **Efeito de lodo têxtil e cinzas de lenha gerados no APL de confecções pernambucano em argamassas de cimento Portland**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, 2013;

LIMA, P.D.S.; MOREIRA, A.H.; OLIVEIRA, R.M. Efeito da adição de lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção. **Cerâmica**, v. 47, n. 303, 2001, p. 158-162;

LIMA, Rodrigo Araújo Pereira. **Concretos autoadensáveis com incorporação de cinza de madeira da Algaroba como fíler alternativo**. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, 2019;

MADURWAR, M.V.; MESHRAM, S.S.; RAUT, S.P. Use of industrial waste burnt residue to develop sustainable brick. **Materials Today: Proceedings**, v. 60, n. 1, 2022, p. 732-737;

MARANGONI, B.; VANZETTO, S.C.; ZALESKI, A. Avaliação da incorporação de lodo como substituição ao agregado miúdo na matriz de concreto. **Perspectiva Erechim**, v. 42, n. 158, 2018, p. 21-30;

MARTINS, Leonardo Madeira. Estudo da aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis visando o seu reuso. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011;

MEDEIROS, Rennan. **Estudo da influência das características da cinza volante nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido: proposta de método simplificado**

em argamassa. 2018. 249 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018;

MELO, Fellipe César Andrade Costa de. **Análise de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinza residual de lenha de algaroba.** 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, 2012;

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA 499. Limites de Concentração de Poluentes Orgânicos Persistentes na Composição dos Resíduos para fins de Coprocessamento.** Brasília 6 de outubro de 2020;

MOLIN, D.D.; TUTIKIAN, B.F. Comparativo das propriedades do concreto autoadensável (CAA) utilizando areia fina e cinza volante. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 4, n. 2, 2011, p. 247-276;

MOURA, Lyneker Souza de. **Utilização de lodo de tratamento têxtil em revestimentos asfálticos: uma análise mecânica, microscópica e ambiental.** 2021. 193 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2021;

NUNES, Valone Santos. Avaliação do efeito da substituição parcial do cimento por resíduo de calcário nas propriedades mecânicas e térmicas de concretos leves. 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, 2020;

ODA, Tatiana Yuri Ramos. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado a partir de lodo biológico de indústrias têxtil e de papel.** 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2017;

OLIVEIRA, Alice Gonzaga de. **Estudo das propriedades mecânicas do lodo têxtil para fins de utilização em pavimentos rodoviários.** 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2014;

PIRES, Dannúbia Ribeiro. **Desenvolvimento de argamassa com substituição parcial do cimento Portland por cinzas de algaroba geradas do APL (Arranjo Produtivo Local) de confecções pernambucano.** 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016;

POON, C.S.; ZHAN, B.J. Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 101, n. 15, 2015, p. 174-179;

RIBEIRO, Simone Valéria. **Reutilização de resíduo de cinza de madeira na produção de tijolo solo-cimento: formulação, propriedades e microestrutura.** 2017. 126 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2017;

SANTOS, André Luís dos. **Caracterização do comportamento mecânico de misturas de solo-escória de aciaria-cinza volante visando a aplicação em pavimentação.** 2013. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2013;

SANTOS, Heloisa Fontes. **Industrialização e o desenvolvimento econômico do município de Estância (SE): 2002 a 2012.** 2015. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015;

SANTOS, Vanderlan V.; VEIGA, K.R.S. Desenvolvimento de blocos intertravados de concreto com adição de lodo têxtil gerado no APL do agreste pernambucano. **Revista FENEC**, v.1, 2017, p. 257-267;

SANTOS, Vanderlan Vieira dos. **Desenvolvimento de blocos intertravados de concreto com incorporação de lodo têxtil em substituição da areia e resíduo de cerâmica vermelha em substituição do cimento portland**. 2019. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Tecnológico do Agreste, Caruaru, 2019;

SCREMIM, Cristofer Bernardi. **Novos compósitos para materiais de construção civil contendo sedimentos de dragagem de porto marítimo, cinza de madeira de bracing e cal residual**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014;

SECRETARIA ESPECIAL DE COMUNICAÇÃO SOCIAL. **PIB das exportações em Sergipe**. Estância: SECOM, 2020. Disponível em: <<https://www.estancia.se.gov.br/>>. Acesso em: 04/05/2022;

SEGG, Secretaria de Estado Geral de Governo. **PRODUTO INTERNO BRUTO DOS MUNICÍPIOS SERGIPANOS**. Observatório de Sergipe. Sergipe, dezembro de 2019;

SIDDIQUE, R. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 67, 2012, p. 27-33;

SILVA, Bruno Bianchi Gonçalves da. **Indústria têxtil no Nordeste: a experiência de Alagoas e Sergipe**. 2019. 184 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019;

SILVEIRA, Edna Cristina de Aguiar. **Avaliação da resistência mecânica de argamassa de assentamento com substituição de agregado miúdo por lodo têxtil**. 2020. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Joinville, 2020;

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Painel de Informações Sobre Saneamento**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>>. Acesso em: 03/05/2022

STAHEL, W.R. The circular economy. **Nature**, v. 531, 2016, p. 435-438;

VASKE, Nei Ricardo. **Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto**. 2012. 325 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012;

VERMOLLEN, Aturiê Felipe Melo. **Avaliação da influência da adição de lodo têxtil em propriedades de resistência de um solo tratado com cimento**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Joinville, 2021;

ZONATTI, Welton F. **Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem.** 2016. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.