



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

KARINA PAULA BARBOSA DE ANDRADE LIMA

PERSPECTIVAS PARA A INOVAÇÃO AMBIENTAL E  
TECNOLÓGICA NA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS  
PARA O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE  
PERNAMBUCO

RECIFE – PE  
JUNHO, 2023

KARINA PAULA BARBOSA DE ANDRADE LIMA

PERSPECTIVAS PARA A INOVAÇÃO AMBIENTAL E  
TECNOLÓGICA NA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS  
PARA O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE  
PERNAMBUCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente - Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Dr<sup>o</sup>. Romildo Morant de Holanda  
Coorientadora: Prof. Dr.<sup>a</sup> Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo

RECIFE – PE  
JUNHO, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L732p

Lima, Karina Paula Barbosa de Andrade

Perspectivas para a inovação ambiental e tecnológica na reutilização de resíduos têxteis para o setor da construção civil no estado de Pernambuco / Karina Paula Barbosa de Andrade Lima. - 2023.  
133 f. : il.

Orientador: Romildo Morant de Holanda.

Coorientadora: Fernanda Wanderley Correa de Araujo.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.

1. Argamassa. 2. Resíduo têxtil. 3. Lodo têxtil. 4. Lavanderia industrial. 5. Compósito. I. Holanda, Romildo Morant de, orient. II. Araujo, Fernanda Wanderley Correa de, coorient. III. Título

CDD 620.8

---

KARINA PAULA BARBOSA DE ANDRADE LIMA

PERSPECTIVAS PARA A INOVAÇÃO AMBIENTAL E TECNOLÓGICA NA  
REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS PARA O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL  
NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente - Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Aprovada em 02 de junho de 2023

---

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda  
Presidente da Banca e Orientador  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Alex Souza Moraes (Membro Interno)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Yêda Vieira Póvoas (Membro Externo)  
Universidade de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais (Lúcia e Luciano) e meu irmão (Kleyton), que são minha fonte de inspiração e meus primeiros professores. Agradeço pela confiança, pela companhia e pelo suporte emocional e financeiro durante a pesquisa.

Às pessoas que me acompanharam de perto nos últimos dois anos, Túlio, Luiz, Nathalia, Fernanda, Lilian, Juliana e Janielly. É fácil ficar monotemática em momentos complicados, mas vocês sempre me ofereceram escuta ativa e os melhores conselhos.

Ao professor Romildo, meu orientador, pela amizade, pelas caronas, almoços, cafês, mas principalmente pelos ensinamentos, que foram além dos conhecimentos científicos. A cada conversa aprendi mais sobre o que é ser uma boa profissional, uma boa pesquisadora e uma pessoa melhor.

À minha coorientadora, professora Fernanda. Obrigada pela persistência, pelos conhecimentos partilhados, pelas conversas bem-humoradas, pelas revisões e sugestões. Seu profissionalismo me inspirou na busca da carreira acadêmica.

Aos membros da banca avaliadora, pela contribuição e sugestões, que certamente enriqueceram o trabalho.

Ao prof. Francisco e à prof. Cecília, pelas caronas e por sempre me arrancarem boas risadas.

Aos colegas da turma 2021.1, Amanda, Mirella, Beatriz e Jair, com quem compartilhei as dificuldades e felicidades do mestrado.

Ao Grupo de Pesquisa Centro de Inovação Tecnológica aplicada aos Recursos Naturais – CITAR e aos amigos do laboratório, Ana Luiza, Eyshila, Liliane, Lucas, Victor, Clayton e Mayza. Obrigada pela companhia diária, pelas conversas e pelo apoio na execução dos ensaios da pesquisa.

À Tamires, que me ajudou a entender e organizar o que sentia e pensava nos períodos mais difíceis do mestrado.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental da UFRPE, na pessoa de Patrícia Karla Batista Andrade, pelo auxílio na secagem de materiais utilizados na pesquisa.

Ao Laboratório de Tecnologia Mineral da UFPE, na pessoa de Filipe Marinho, pela realização de ensaios de caracterização do resíduo.

Ao professor Leonardo Siqueira, do Departamento de Tecnologia Rural – UFRPE, pela concessão de equipamento para realização de ensaios das argamassas.

À Lavanderia Nossa Senhora do Carmo, que permitiu as visitas técnicas e coleta de material para a pesquisa, e à Jacqueline, que apresentou e explicou os processos da lavanderia sempre de forma clara e solícita.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPEAMB, pela estrutura e o apoio oferecidos. Aos professores e funcionários do programa, profissionais qualificados e prestativos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, pela organização e pela estrutura.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo auxílio financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Um passo à frente e você já não está mais no mesmo lugar”*

*Chico Science*

LIMA, Karina Paula Barbosa de Andrade. **Perspectivas para a inovação ambiental e tecnológica na reutilização de resíduos têxteis para o setor da construção civil no Estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

## RESUMO

O lodo têxtil é o resíduo sólido produzido no processo de beneficiamento de jeans nas lavanderias industriais, podendo ser definido como um material de composição variada e de alta umidade. Este resíduo é constituído da união das partículas floculadas dos efluentes líquidos e das impurezas carregadas pelos tecidos, desde as fases de produção, corte e costura. Os impactos ambientais causados pelo lodo têxtil apresentam potencial de poluição para o solo e a água, devido a sua contaminação com elementos químicos remanescentes dos produtos aplicados aos jeans. O presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento de argamassas de cimento Portland incorporadas com agregado miúdo alternativo (lodo) em substituição parcial nos teores de 0, 10 %, 20 % e 25 % ao agregado convencional (areia natural), buscando uma destinação sustentável para esse material. O programa de investigação partiu do levantamento de dados secundários, contando com uma análise bibliométrica realizada a partir da metodologia PRISMA (Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises), voltada à aplicação do lodo têxtil em materiais de construção. O traço utilizado para a moldagem das argamassas foi de 1:1:6, em cimento, cal e areia, e o conjunto amostral contém corpos de prova prismáticos e cilíndricos. Simultaneamente à moldagem, foram realizados os ensaios de índice de consistência e densidade de massa no estado fresco das argamassas, enquanto os ensaios de densidade de massa aparente, resistência à compressão e tração na flexão, absorção de água e índice de vazios, absorção de água por capilaridade e aderência foram executados no estado endurecido após o período de cura de 28 dias, aos quais foi aplicada a análise de variância (ANOVA), para avaliar se houveram alterações significativas nestas propriedades. O lodo apresentou umidade média de 68,9 %, teor de matéria orgânica de 3,33 % e curva granulométrica classificada como zona ótima para agregado miúdo. A composição química indicou a presença de cálcio, silício, magnésio e alumínio e a DRX identificou o material como amorfo. A massa específica do lodo tratado apresentou redução de 36,97% em relação à da areia, configurando um material mais leve. As argamassas com lodo têxtil apresentaram diminuição significativa na densidade de massa aparente e na resistência à compressão. Quanto a absorção de água por capilaridade, a argamassa com 20 % de lodo apresentou o melhor resultado, com redução de 87,80 %, em comparação com a argamassa de referência. As argamassas padrão e com 20 % de lodo apresentam médias de resistência de aderência à tração estatisticamente iguais, apresentando possibilidade de aplicação em revestimentos de paredes internas e externas e de tetos. As argamassas com incorporação de lodo apresentam potencial para aplicação na construção civil, destacando-se o traço com 20 % de lodo têxtil. O estudo de viabilidade indicou redução de 23,18 % no custo de produção para a argamassa com 20 % de lodo em relação à mistura de referência, além de diminuir em 31,40 % a emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da produção e transporte do agregado miúdo.

**Palavras-chave:** Argamassa; Resíduo têxtil; Lodo têxtil; Lavanderia industrial; Compósito.

LIMA, Karina Paula Barbosa de Andrade. **Perspectives for environmental and technological innovation in the reuse of textile waste for the civil construction sector in the State of Pernambuco.** Master Thesis (Master's Program in Environmental Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 2023.

### ABSTRACT

Textile sludge is the solid waste produced in the jeans beneficiation process in industrial laundries, and can be defined as a material of varied composition and high moisture. This residue consists in flocculated particles from liquid effluents and impurities carried by fabrics, from the production, cutting and sewing stages. The environmental impacts caused by textile sludge have the potential to pollute soil and water, due to its contamination with chemicals remaining from products applied to jeans. The present study aims to analyze the behavior of Portland cement mortars incorporated with alternative fine aggregate (sludge) in partial replacement at levels of 0, 10 %, 20 % and 25 % to conventional aggregate (natural sand), seeking a sustainable destination for this material. The research program started from the collection of secondary data, with a bibliometric analysis carried out using the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) methodology, focused on the application of textile sludge in construction materials. The proportion used for molding the mortars was 1:1:6, in cement, lime and sand, and the sample set contains prismatic and cylindrical test specimens. Simultaneously with molding, consistency index and mass density tests were carried out in the fresh state of mortars, while apparent mass density, compressive and flexural strength, water absorption and voids index, capillary absorption and tensile adherence strength tests were performed in hardened state after the curing period of 28 days, to which the analysis of variance (ANOVA) was applied to assess whether there were significant changes in these properties. Textile sludge had an average water content of 68.9 %, organic matter content of 3.33 % and granulometric curve classified as optimal zone for fine aggregate; chemical composition indicated the presence of calcium, silicon, magnesium and aluminum and the XDR test identified the material as amorphous. The specific mass of treated sludge presented a reduction of 36.97 % in relation to natural sand, configuring a lighter material. Mortars with textile sludge showed a significant decrease in mass density and compressive strength. As for capillary absorption, mortar with 20 % sludge presented the best result, with reduction of 87.80 %, compared to reference mortar. Standard mortar and with 20 % sludge have statistically equal results of tensile adherence strength, presenting possibility of application in coatings for internal and external walls and ceilings. Mortars with sludge incorporation have potential for application in construction, specially the mix with 20 % textile sludge. The feasibility analysis indicated decrease of 23.18 % in the cost of mortar production with 20 % of sludge to the reference mixture, in addition to reducing CO<sub>2</sub> emissions by 31.40 % from the production and transport of the fine aggregate.

**Keywords:** Mortar; Textile waste; Textile sludge; Industrial laundry; Composite;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição das lavanderias por município.....	7
Figura 2: Separação e pesagem das peças prévias ao tratamento.....	8
Figura 3: Processos do beneficiamento de jeans em lavanderia industrial.....	8
Figura 4: Elaboração de acabamento (a) em bigode e (b) em puídos.....	8
Figura 5: Tratamentos aplicados aos efluentes têxteis. ....	10
Figura 6: Camadas de revestimento para (a) cerâmicas, pedras e placas; (b) e para pintura ou papeis de parede.....	14
Figura 7: Organograma da estrutura da pesquisa. ....	19
Figura 8: Localização do Polo de confecções, do APL e do município de Caruaru. ....	20
Figura 9: Organograma estrutural do levantamento dos dados secundários. ....	21
Figura 10: Área de armazenamento do lodo.....	23
Figura 11: (a) Lodo úmido, (b) seco em estufa, (c) seco e triturado, (d) seco e peneirado.....	24
Figura 12: (a) Acondicionamento das amostras; (b) Amostras contaminadas por mofo. ....	25
Figura 13: Uniformização do lodo. ....	25
Figura 14: (a) Amostra em condição de saturação superfície seca; (b) frasco empregado no ensaio de determinação da densidade e absorção de água.....	31
Figura 15: (a) Preparação da amostra de areia; (b) quarteamento do material; (c) série de peneiras sobre o agitador mecânico.....	32
Figura 16: (a) Preenchimento do recipiente com o agregado, (b) Pesagem do conjunto.....	33
Figura 17: (a) Preparação das amostras; (b) cadinhos contendo amostras na estufa; (c) amostras após ensaio. ....	34
Figura 18: Cadinho contendo amostra para calcinação em mufla.....	35
Figura 19: (a) Preparação da amostra de lodo; (b) quarteamento do material; (c) jogo de peneiras sobre o agitador; (d) peneiramento manual das peneiras. ....	35
Figura 20: (a) Frasco em banho térmico; e (b) Le Chatelier durante ensaio.....	37
Figura 21: (a) Aferição da temperatura da água para correção da densidade; (b) pesagem do conjunto amostra + recipiente. ....	38
Figura 22: (a) Homogeneização dos materiais secos; (b) mistura da argamassa em alta velocidade; (c) pausa para a raspagem das paredes do recipiente.....	39
Figura 23: (a) Moldagem do tronco de cone; (b) rasamento do molde tronco-cônico; (c) argamassa após a retirada do molde; (d) argamassa espalhada após ensaio. ....	40
Figura 24: Pesagem da amostra após a mistura.....	41
Figura 25: Rompimento de corpo de prova prismático no ensaio de resistência à tração na flexão. ....	42
Figura 26: Corpo de prova posicionado no dispositivo Rilem para compressão. ....	43
Figura 27: Fervura dos corpos de prova para ensaio de absorção e índice de vazios. ....	44
Figura 28: Corpos de provas dispostos sobre tela metálica.....	45
Figura 29: Componentes do gráfico boxplot.....	27
Figura 30: Nuvem de palavras da amostragem utilizada.....	39
Figura 31: Distribuição de artigos por país. ....	40

Figura 32: Produção científica ao longo dos anos.....	41
Figura 33: Fontes mais relevantes. ....	42
Figura 34: Curva granulométrica do agregado miúdo.....	44
Figura 35: Frações granulométricas da areia. ....	44
Figura 36: Teores de umidade médios por secagem.....	45
Figura 37: Envolvimento da série normal de peneiras.....	46
Figura 38: Curva granulométrica do lodo têxtil. ....	47
Figura 39: Frações granulométricas do lodo têxtil. ....	47
Figura 40: Difratoograma de raios-X do lodo têxtil.....	49
Figura 41: Curvas de ATD/TG do lodo têxtil. ....	50
Figura 42: Ilustração do ensaio de índice de consistência.....	52
Figura 43: (a) Nivelamento do equipamento; (b) execução do ensaio.....	53
Figura 44: Boxplot dos valores de densidade de massa aparente.....	55
Figura 45: Densidade de massa aparente média das argamassas. ....	56
Figura 46: Diferenças de médias de densidade de massa pelo teste de Tukey.....	57
Figura 47: <i>Boxplot</i> dos valores de resistência à tração na flexão. ....	58
Figura 48: Resistência à tração na flexão média das argamassas.....	59
Figura 49: Diferenças de médias de resistência à tração pelo teste de Tukey.....	60
Figura 50: <i>Boxplot</i> dos valores de resistência à compressão.....	61
Figura 51: Resistência à compressão média das argamassas. ....	61
Figura 52: Diferenças de médias de resistência à compressão pelo teste de Tukey.....	62
Figura 53: <i>Boxplot</i> dos valores de absorção de água.....	63
Figura 54: <i>Boxplot</i> dos valores de índice de vazios. ....	64
Figura 55: Absorção de água e índice de vazios médios das argamassas. ....	65
Figura 56: Diferenças de médias de absorção de água pelo teste de Tukey.....	66
Figura 57: Diferenças de médias de índice de vazios pelo teste de Tukey. ....	67
Figura 58: <i>Boxplot</i> dos valores de absorção de água por capilaridade ( $A_{90}$ ).....	68
Figura 59: Absorções de água por capilaridade médias das argamassas ( $A_{10}$ e $A_{90}$ ). ....	68
Figura 60: Diferenças de médias de absorção por capilaridade pelo teste de Tukey. ....	70
Figura 61: <i>Boxplot</i> dos valores de aderência.....	71
Figura 62: Resistência de aderência à tração média das argamassas. ....	72
Figura 63: Diferenças de médias de aderência pelo teste de Tukey.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Boletim técnico do cimento CP-II F.....	27
Tabela 2: Traço corrigido para as argamassas.....	28
Tabela 3: Definição do conjunto amostral da pesquisa.....	28
Tabela 4: Características do recipiente utilizado no ensaio.....	32
Tabela 5: Espessuras admissíveis para revestimentos.....	46
Tabela 6: Limites de resistência de aderência à tração.....	46
Tabela 7: Tratamentos experimentais delineados.....	28
Tabela 8: Classificação quanto a resistência à compressão.....	29
Tabela 9: Classificação quanto a densidade de massa aparente.....	29
Tabela 10: Classificação quanto a resistência à tração na flexão.....	29
Tabela 11: Classificação quanto ao coeficiente de capilaridade.....	30
Tabela 12: Classificação quanto a densidade de massa no estado fresco.....	30
Tabela 13: Classificação quanto a resistência de aderência à tração.....	30
Tabela 14: Contabilização dos artigos através dos termos pesquisados.....	32
Tabela 15: Teores de matéria orgânica médios.....	46
Tabela 16: Composição química do lodo têxtil.....	48
Tabela 17: Índices de consistência de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016a).....	53
Tabela 18: Relação de água/aglomerantes das argamassas.....	54
Tabela 19: Densidade de massa das argamassas frescas.....	54
Tabela 20: Estatística descritiva dos resultados de densidade de massa aparente.....	55
Tabela 21: Análise de variância da densidade de massa aparente.....	56
Tabela 22: Agrupamentos pelo método de Tukey para densidade de massa aparente.....	57
Tabela 23: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de resistência à tração.....	58
Tabela 24: Análise de variância da resistência à tração na flexão.....	59
Tabela 25: Agrupamentos pelo método de Tukey para resistência à tração na flexão.....	59
Tabela 26: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de resistência à compressão.....	60
Tabela 27: Análise de variância da resistência à tração na flexão.....	62
Tabela 28: Agrupamentos pelo método de Tukey para resistência à compressão.....	62
Tabela 29: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de absorção de água.....	63
Tabela 30: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de índice de vazios.....	64
Tabela 31: Análise de variância da absorção de água.....	65
Tabela 32: Agrupamentos pelo método de Tukey para absorção de água.....	65
Tabela 33: Análise de variância do índice de vazios.....	66
Tabela 34: Agrupamentos pelo método de Tukey para índice de vazios.....	66
Tabela 35: Estatística descritiva do ensaio de absorção por capilaridade (A <sub>90</sub> ).....	67
Tabela 36: Coeficientes de capilaridade médios das argamassas.....	69
Tabela 37: Análise de variância da absorção de água por capilaridade (A <sub>90</sub> ).....	69
Tabela 38: Agrupamentos pelo método de Tukey para absorção por capilaridade.....	69
Tabela 39: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de aderência.....	71
Tabela 40: Análise de variância da aderência.....	72
Tabela 41: Agrupamentos pelo método de Tukey para aderência.....	73
Tabela 42: Classificação das argamassas quanto as propriedades da NBR 13281/2005.....	73

Tabela 43: Custo mensal para encaminhamento e disposição do lodo no aterro. ....	74
Tabela 44: Custo unitário dos insumos para produção das argamassas. ....	75
Tabela 45: Cálculo do consumo de materiais para 1 m <sup>3</sup> de argamassa padrão. ....	75
Tabela 46: Custo para a produção de 1 m <sup>3</sup> da argamassa padrão. ....	76
Tabela 47: Cálculo do consumo de materiais para 1 m <sup>3</sup> de argamassa ALT-20. ....	76
Tabela 48: Custo para a produção de 1 m <sup>3</sup> da ALT-20. ....	76
Tabela 49: Cálculo do volume real de ALT-20 para 7t de lodo. ....	77

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição do tipo de cura para os corpos de prova da pesquisa.....	39
Quadro 2: Resumo dos estudos sobre materiais cimentícios com resíduos têxteis.....	33
Quadro 3: Resumo dos estudos sobre materiais não-cimentícios com resíduos têxteis.....	35
Quadro 4: Classificação Qualis dos periódicos.....	42

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

PRISMA	Principais Itens para Relatar Revisoes Sistemáticas e Meta-Análises
ANOVA	Análise de Variância
DRX	Difraco Raios-X
FRX	Fluorescência Raios-X
ABIT	Associao Brasileira de Indústria Têxtil e de Confeco
IEA	Agência Internacional de Energia
ANEPAC	Associao Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construo
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
APL	Arranjo Produtivo Local
ABNT	Associao Brasileira de Normas Técnicas
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio s Micro e Pequenas Empresas
CNAE	Classificao Nacional de Atividades Econmicas
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
ONU	Organizao das Naoes Unidas
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
AIA	Avaliao de Impacto Ambiental
URB-	Autarquia de Urbanizao e Meio Ambiente de Caruaru
CARUARU	
CAPES	Coordenao de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
CP	Cimento Portland
CH	Cal Hidratada
ALT	Argamassa com Lodo Têxtil
NM	Norma Mercosul
ATD/TG	Análise Térmica Diferencial/Análises de Termogravimetria
Q1, Q2, Q3	Quadris
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construo Civil
EU	União Europeia
AITEX	Asociación de Investigación de la Industria Textil
DMC	Dimensão Máxima Característica
ETE	Estaao de Tratamento de Esgoto
EPS	Poliestireno
DesvPad	Desvio Padrão

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. GERAL	4
2.2. ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. ARRANJO PRODUTIVO LOCAL (APL) DO AGRESTE	5
3.2. LAVANDERIAS INDUSTRIAIS NO APL	6
3.3. PROCESSOS DO BENEFICIAMENTO DAS PEÇAS	7
3.4. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E O LODO TÊXTIL	9
3.5. IMPACTOS AMBIENTAIS DO BENEFICIAMENTO DE TÊXTEIS	11
3.6. A CONSTRUÇÃO CIVIL E A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS	12
3.7. SISTEMA CONSTRUTIVO: REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	13
3.8. ASPECTOS LEGAIS	15
3.8.1. Acordos Internacionais	15
3.8.2. Legislação Brasileira	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS SECUNDÁRIOS	21
4.3. MATERIAIS	23
4.3.1. Lodo Têxtil	23
4.3.2. Cimento	25
4.3.3. Cal	27
4.3.4. Areia	27
4.4. DEFINIÇÃO DOS TEORES E DESCRIÇÃO DO CONJUNTO AMOSTRAL	27
4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	29
4.5.1. Massa específica do cimento	29
4.5.2. Massa específica da cal	29
4.5.3. Areia	29
4.5.3.1. Determinação da massa específica e absorção de água	29
4.5.3.2. Composição Granulométrica	31
4.5.3.3. Massa Unitária	32
4.5.4. Lodo Têxtil	33
4.5.4.1. Teor de Umidade	33

4.5.4.2.	Teor de Matéria Orgânica	34
4.5.4.3.	Composição Granulométrica	35
4.5.4.4.	Difração Raios-X	36
4.5.4.5.	Fluorescência Raios-X	36
4.5.4.6.	Análise Térmica (TG/DTG)	36
4.5.4.7.	Massa Específica	36
4.5.4.8.	Massa Unitária	37
4.6.	DOSAGEM, MOLDAGEM E CURA	38
4.7.	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	40
4.7.1.	Índice de Consistência	40
4.7.2.	Densidade de massa	41
4.8.	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	41
4.8.1.	Densidade de massa aparente	42
4.8.2.	Resistência à tração na flexão	42
4.8.3.	Resistência à compressão	43
4.8.4.	Absorção de água e índice de vazios	43
4.8.5.	Absorção de água por capilaridade	44
4.8.6.	Resistência de aderência à tração	45
4.9.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
4.9.1.	Estatística descritiva	46
4.9.2.	Testes Estatísticos	28
4.10.	CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	29
4.11.	ESTUDO DE VIABILIDADE	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1.	LEVANTAMENTO DE DADOS SECUNDÁRIOS	32
5.1.1.	Materiais cimentícios	32
5.1.2.	Materiais não-cimentícios	35
5.1.3.	Meta-análise	38
5.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	43
5.2.1.	Massa específica do cimento	43
5.2.2.	Massa específica da cal	43
5.2.3.	Areia	43
5.2.3.1.	Determinação da densidade e absorção de água	43
5.2.3.2.	Composição Granulométrica	43
5.2.3.3.	Massa Unitária	45

5.2.4.	Lodo Têxtil	45
5.2.4.1.	Teor de Umidade	45
5.2.4.2.	Teor de Matéria Orgânica	45
5.2.4.3.	Composição Granulométrica	46
5.2.4.4.	Fluorescência Raios-X	48
5.2.4.5.	Difração Raios-X	49
5.2.4.6.	Análise Térmica (TG/DTG)	50
5.2.4.7.	Massa Específica	51
5.2.4.8.	Massa Unitária	51
5.3.	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	51
5.3.1.	Índice de Consistência	51
5.3.2.	Densidade de massa	54
5.4.	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	55
5.4.1.	Densidade de massa aparente	55
5.4.2.	Resistência à tração na flexão	57
5.4.3.	Resistência à compressão	60
5.4.4.	Absorção de água e índice de vazios	63
5.4.5.	Absorção de água por capilaridade	67
5.4.6.	Resistência de aderência à tração	70
5.5.	CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	73
5.6.	ESTUDO DE VIABILIDADE	74
6.	CONCLUSÕES	78
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
	REFERÊNCIAS	82

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria têxtil se destaca pela geração de emprego e renda, composta por 25,5 mil empresas formais, empregando diretamente cerca de 1,5 milhão de pessoas, posicionando o país em quarto lugar dentre os maiores parques de confecção e em quinto como maior produtor de têxteis (ABIT, 2021).

Brenot *et al.* (2019) estimam que a venda de peças de roupas dobrou nos últimos 20 anos, chegando a oitenta bilhões de peças vendidas todos os anos. Com a necessidade de atender os desejos de consumo dos clientes, mais peças são produzidas a preços cada vez menores, o que gera pressão na indústria da moda, considerada um dos setores mais poluidores (BRENOT *et al.*, 2019). A partir do conhecimento da finitude e escassez dos recursos naturais e da dificuldade no descarte de resíduos industriais, são necessários investimentos para a inovação e melhoria na indústria têxtil.

As lavanderias industriais são conhecidas por utilizarem altos volumes de água em seus processos. Viana *et al.* (2018) sugerem que o consumo de água tende a aumentar, em alinhamento ao crescimento populacional e suas alterações de hábitos de consumo. Para que se alcance um equilíbrio quanto à disponibilidade e à demanda hídrica, a gestão da água nos processos produtivos das indústrias é essencial.

O surgimento de lavanderias industriais, principalmente em países em desenvolvimento, resultou em geração de altos volumes de efluentes (HO *et al.*, 2021), os quais, segundo estudo de Brenot *et al.* (2019), continham metais como cádmio, cromo, chumbo, cobre e mercúrio. A poluição por metais pesados é preocupante devido a toxicidade e pela persistência no meio ambiente, podendo ser adsorvidos por vegetais e animais (VASCONCELOS, 2020).

O acúmulo de resíduos industriais em aterros leva à contaminação de solos, águas superficiais e subterrâneas e da atmosfera, estando esta última, diretamente ligada à problemática das mudanças climáticas (MYMRIN *et al.*, 2016). Uma das formas de reduzir os impactos causados por resíduos sólidos é a redução da disposição deste material em aterros, visto que os aterros apresentam vida útil limitada entre 20 e 30 anos (DAI-PRÁ *et al.*, 2018).

Machado, Candeia e Farias (2019) afirmam que as questões ambientais têm sido discutidas nas indústrias têxteis, na procura por soluções que causem menos impactos ao meio ambiente e, simultaneamente, mantenham o lucro e a competitividade do mercado.

Outra indústria que gera grande impacto ao meio ambiente é a da construção civil. Uma vez que esta se baseia no uso de grandes quantidades de energia não renovável, resultando na emissão de altos níveis de dióxido de carbono (HUANG *et al.*, 2018). Já em 2009, o setor foi

responsável por 5,7 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalente a 23% do total global de emissões do poluente produzidas por atividades econômicas (HUANG *et al.*, 2018). A Agência Internacional de Energia (IEA) levantou em 2017 que 35% da energia global foi utilizada na construção civil. Assim como, foi a responsável pela emissão de 40% do CO<sub>2</sub>, a qual cresceu na taxa de 1% ao ano de 2010 a 2016.

A Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC afirma que a produção de agregados chega a 2/3 do total da produção mineral no mundo, e alcançou o número de 65 bilhões de toneladas em 2014 (ANEPAC, 2015). McGinnis *et al.* (2017) afirmam que mais da metade da atividade de mineração nos Estados Unidos é direcionada a retirada de agregados naturais, como brita, areia e cascalho. O Brasil possui grande demanda por agregados para construção, chegando a produzir 741 milhões de toneladas em 2014. Neste mesmo ano, a região Nordeste produziu 154,3 milhões de toneladas, atrás apenas da Sudeste (ANEPAC, 2015).

Pero *et al.* (2017) indicam práticas no processo de aquisição de materiais para a melhoria na sustentabilidade no setor da construção, como a redução no consumo de matéria-prima proveniente de recursos naturais e a compra de materiais reciclados. A utilização de agregados reciclados reduz as emissões de CO<sub>2</sub> e o uso de energia em 60% em relação aos agregados naturais (MCGINNIS *et al.*, 2017).

O uso e o desenvolvimento de materiais e serviços com baixo teor de carbono incorporado, a melhoria da eficiência energética de equipamentos e a promoção do uso de energias renováveis são os principais pontos de oportunidade para o avanço da sustentabilidade ambiental no setor da construção, principalmente em países emergentes (HUANG *et al.*, 2018).

E nessa linha, o setor da construção civil tem impulsionado estudos buscando a estabilização e a inertização de diversos resíduos industriais, inclusive o lodo têxtil, através do desenvolvimento de metodologias para a aplicação do resíduo em concretos e argamassas. Estudos recentes indicam resultados positivos para a aplicação do lodo têxtil em substituição ao agregado miúdo em concretos e argamassas. A substituição parcial da areia por lodo têxtil, realizada por Leloup (2013) e Kasaw *et al.* (2021) revelaram que os concretos e argamassas com adição de lodo têxtil apresentaram capacidade de reter os metais pesados cádmio, cromo, chumbo, cobre, ferro, zinco e mercúrio, atendendo os limites normativos locais.

Entende-se que o objeto desse estudo, a argamassa com adição do lodo proveniente da indústria têxtil, tem potencial de inovação no âmbito acadêmico, como também no industrial, uma vez que o setor busca alternativas para o descarte do resíduo. Além disto, o segmento da construção apresentou recuperação em 2021, com crescimento de 9,7%, segundo Relatório

Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2021). Com isso, pretende-se estudar o comportamento de argamassas a partir da incorporação do lodo proveniente de lavanderias industriais têxteis.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

Estudar o comportamento de argamassas de cimento Portland a partir da incorporação do lodo proveniente da indústria têxtil do Arranjo Produtivo Local (APL) de Confeções do Agreste de Pernambuco.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- Levantar dados secundários através da revisão bibliográfica e da bibliometria;
- Apresentar as características química, física e mineralógica do lodo têxtil;
- Avaliar as propriedades físicas das argamassas de revestimento no estado fresco e as propriedades físicas e mecânicas no estado endurecido;
- Classificar as argamassas quanto às alterações provocadas pelas diferentes proporções do resíduo através da NBR 13281 (ABNT, 2005a);
- Elaborar o estudo de viabilidade para o compósito.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

O capítulo trata do levantamento bibliográfico referente ao objeto de estudo, iniciado pela caracterização do Arranjo Produtivo Local (APL) do agreste de Pernambuco, seguido pelo estudo das lavanderias industriais contidas no arranjo, a descrição dos processos de beneficiamento, do tratamento dos efluentes têxteis e dos riscos e impactos ambientais causados por estas atividades industriais (tópicos 3.1 a 3.5). No tópico 3.6 são relatadas as relações entre as práticas do setor da construção civil e a exploração dos recursos naturais. Nos tópicos 3.7 e 3.8 são descritas as camadas que constituem um sistema de revestimento e a aplicação do lodo nesses revestimentos. Finalizando com o levantamento dos aspectos legais relacionados às indústrias têxteis e da construção civil (tópico 3.9).

#### 3.1. ARRANJO PRODUTIVO LOCAL (APL) DO AGRESTE

Os APL são aglomerados de empreendimentos localizados em um mesmo espaço geográfico com características culturais, sociais, econômicas, políticas e ambientais semelhantes, além de apresentarem um nicho de atuação em comum. Além disso, as empresas partilham de vínculos de articulação, cooperação e aprendizagem, objetivando melhorar a produtividade e desenvolver a economia da região. Estes vínculos se expressam em práticas como divisão de maquinário, capacitações, treinamentos e atendimento de demanda do mercado em conjunto (BRASIL, 2017a; BRASIL, 2017b).

Souza, Bezerra e Gonçalves (2020) afirmam que os arranjos produtivos devem introduzir estratégias como a otimização do uso dos recursos naturais e a adequação às legislações e políticas ambientais dos espaços integrantes.

O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE (2013) realizou um levantamento no ano de 2012, relatando que, apesar das atividades do setor têxtil terem se expandido para outros municípios do estado de Pernambuco, os municípios que deram origem ao Arranjo Produtivo Local do Agreste do estado foram: Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Cupira, Riacho das Almas, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama e Vertentes. No ano do levantamento, o Polo de Confecções já contava com 3.367 empresas formais, chegando a 18.803 quando somadas as unidades produtivas informais, e empregando 24.449 pessoas, concentradas principalmente nos municípios de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Caruaru, responsáveis por 77% das empresas e 76% das pessoas empregadas no arranjo produtivo.

Toritama se destaca no Brasil quanto a confecção de jeans, despontando como o segundo maior polo desta atividade no país. Neste município são produzidos 15% do total nacional de

peças *jeans*, gerando 15 mil empregos diretos. A produção de peças ocorre principalmente em pequenos empreendimentos e empresas que funcionam em espaços domésticos, e, juntamente com o comércio, constituem as principais atividades econômicas do município (SEBRAE, 2019).

Ainda de acordo com SEBRAE (2019), o setor de confecções de jeans, objeto principal do APL do Agreste Pernambucano, tem apresentado níveis de maturidade empresarial proveniente da modernização dos processos de produção e de inovações na comercialização, apesar da instabilidade econômica no país.

### 3.2. LAVANDERIAS INDUSTRIAIS NO APL

A indústria têxtil representa cerca de 6,6% dos ganhos da indústria de transformação brasileira, apresentando produção de 9 bilhões de peças em 2019, entre os cinco maiores produtores e consumidores de *denim*<sup>1</sup> do mundo. Apesar do forte impacto da manufatura têxtil do país, a produção têxtil é voltada para o mercado interno, com valor arrecadado de importação 5 vezes maior do que a exportação (MENEGON; POLI; MAZZIONI, 2018; ABIT, 2021).

O aparecimento e desenvolvimento de empreendimentos voltados à confecção e ao beneficiamento de peças de vestuário modificou a economia do Agreste Pernambucano, surgindo como micro e pequenas empresas, em consequência da necessidade de uma alternativa à agricultura e à pecuária (SEBRAE, 2019; VASCONCELOS, 2020).

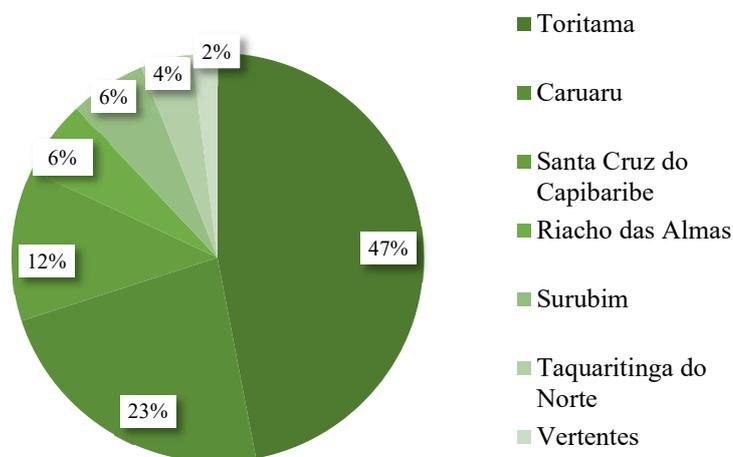
No município de Toritama, a fabricação de calçados teve início na década de 70, devido ao solo desfavorável e à intermitência do único rio presente no município. A atividade decaiu devido à concorrência no mercado, dando espaço a fabricação industrial de *jeans*. Atualmente, Toritama é conhecido como a “Capital do *jeans*”, sendo o segundo maior polo de confecções e produzindo 15% do *jeanswear* no Brasil (SEBRAE, 2019).

Em estudo realizado por Alves (2020), foram contabilizadas 235 lavanderias no território pernambucano, estando 134 localizadas no APL do agreste, incluindo as lavanderias industriais de beneficiamento de jeans e também de outros segmentos de produtos têxteis, distribuídas essencialmente em Toritama, Caruaru e Santa Cruz do Capibaribe (Figura 1).

---

<sup>1</sup> Tecido produzido a partir do trançamento de fibras de algodão, utilizado na manufatura do jeans

Figura 1: Distribuição das lavanderias por município.



Fonte: Adaptado de Alves (2020)

De acordo com Alves (2020), dentre as lavanderias identificadas no APL, 38% apresentavam o código de Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), descrevendo “alvejamento, tingimento e torção em fios, tecidos e artigos têxteis, inclusive em peças de vestuário” como atividade principal. Um dos empreendimentos apresentava a atividade “lavanderias, tinturarias e toalheiros”. Os 61% restantes não possuíam código CNAE. Do total de lavanderias, cerca de 25% apresentavam registro de licenciamento ambiental no site da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) (ALVES, 2020).

O levantamento realizado pelo SEBRAE (2013) contabilizou um total de 15.138 Unidades Produtivas Informais no setor da produção de têxteis no APL do agreste pernambucano, desde a confecção ao beneficiamento das peças *jeans*.

### 3.3. PROCESSOS DO BENEFICIAMENTO DAS PEÇAS

As lavanderias industriais se encarregam do beneficiamento e acabamento de peças têxteis, a partir de processos para transformação visual da textura e coloração, com base em padrões de mercado, pré-estabelecidos pelo cliente solicitante (RIBEIRO; TAVARES, 2018).

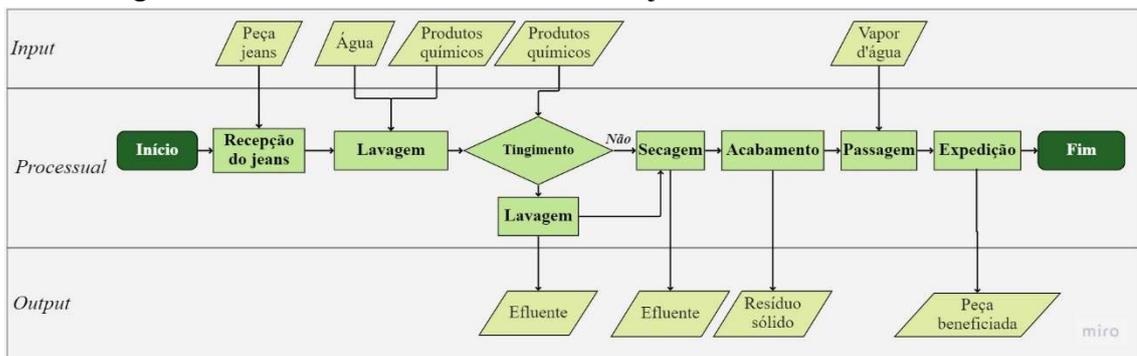
Os processos fabris das lavanderias industriais partem do recebimento, separação e pesagem das peças (Figura 2), seguidos de desengomagem, estonagem, alvejamento, tingimento, amaciamento, centrifugação, acabamento, passagem e expedição da peça pronta (Figura 3).

Figura 2: Separação e pesagem das peças prévias ao tratamento.



Fonte: Autora (2023).

Figura 3: Processos do beneficiamento de jeans em lavanderia industrial.



Fonte: Autora (2023).

Os processos são divididos em secos, que inclui o acabamento em bigode (Figura 4a), puído (Figura 4b) e pinado, e em úmidos, integrado pelas etapas que resultam no esgotamento (VIANA, 2019).

Figura 4: Elaboração de acabamento (a) em bigode e (b) em puídos.



Fonte: Autora (2023).

Para alcançar o resultado solicitado pelo cliente, as lavanderias de beneficiamento inserem produtos químicos e corantes, que aderem ao tecido através da água. Após a criação de uma peça piloto, são definidos os procedimentos, como temperatura, tempo de lavagem e quantitativo de produtos aplicados, gerando uma ficha de serviço, a qual deverá ser seguida para a obtenção de peças idênticas durante a produção (RIBEIRO; TAVARES, 2018; VIANA, 2019).

As atividades realizadas para o beneficiamento do *jeans* requerem altos volumes de água, apresentando pegada hídrica de 530.803,2 m<sup>3</sup>/mês, com eficiência hídrica de 40% e taxa de desperdício de 60% (ALVES, 2020). Os efluentes líquidos gerados nos processos são coletados por valas no piso do empreendimento, abaixo dos equipamentos de lavagem e centrifugação, de onde é carregado até a estação de tratamento (VIANA, 2019).

Os efluentes líquidos resultantes do beneficiamento têxtil carregam as substâncias utilizadas nas etapas úmidas, como o permanganato de potássio, aplicado para obtenção do acabamento *used<sup>2</sup>*, além de corantes, surfactantes, íons inorgânicos, agentes umectantes e compostos recalcitrantes (QUEIROZ *et al.*, 2016; VIANA, 2019).

Estes efluentes passam por etapas de tratamento até que atinjam os requisitos mínimos definidos pela CPRH, para que sejam liberados aos corpos d'água. Do tratamento, resulta um resíduo sólido: o lodo têxtil, um material de composição química variada, dada a complexidade dos processos do beneficiamento, e de alta umidade (VASCONCELOS, 2020).

#### 3.4. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E O LODO TÊXTIL

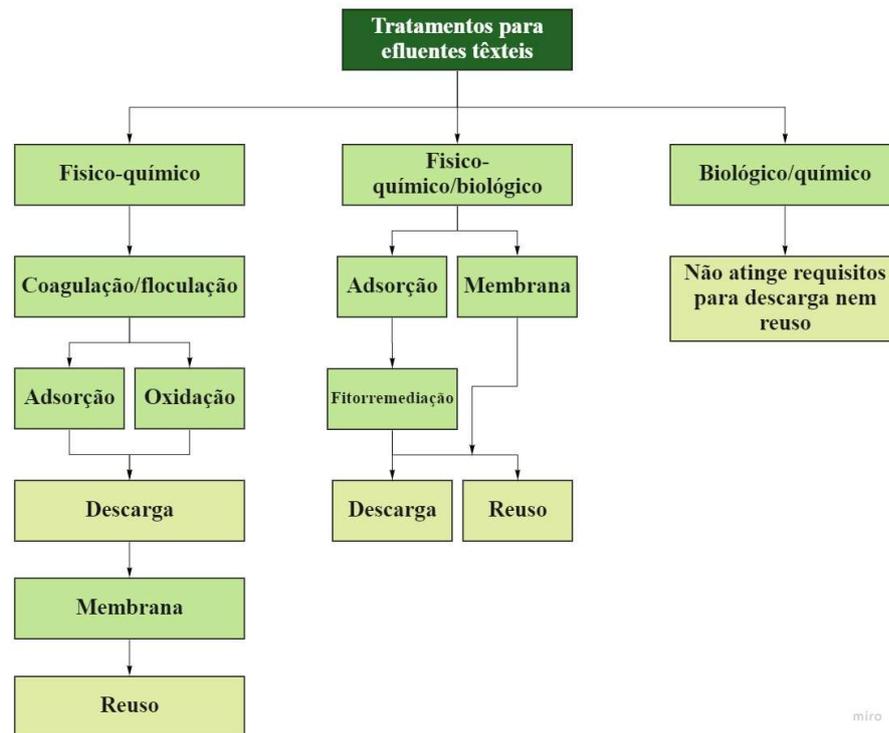
O sistema de tratamento dos efluentes têxteis pode apresentar processos físico-químico, biológico e a combinação destes (Figura 5).

O tratamento eficiente de efluentes provenientes de processos produtivos é indispensável para conter a poluição hídrica e para alcançar a sustentabilidade da água. O projeto das vias de coleta dos efluentes líquidos e dos processos de tratamento das lavanderias depende da quantidade de água utilizada durante os processos de beneficiamento (HO *et al.*, 2021). O ideal seria que as estações de tratamento contassem com tubulações e recipientes que reservassem os efluentes provenientes dos diferentes processos, como a água da desengomagem, da primeira lavagem e a água da segunda lavagem, pós tingimento. Com isso, o tratamento dependeria do nível de poluição da água, mas o que normalmente ocorre é a mistura dos efluentes para a aplicação de um tratamento único.

---

<sup>2</sup> Acabamento clareado dado ao *denim*, feito com pistola.

Figura 5: Tratamentos aplicados aos efluentes têxteis.



Fonte: Adaptado de Ho *et al.* (2021).

O tratamento identificado nas lavanderias do APL foi o físico-químico, iniciado pelo transporte do efluente bruto, resultante das etapas de desengomagem, lavagens e centrifugação até os tanques de equalização, onde o líquido é homogeneizado e uniformizado quanto a características de temperatura e pH (VIANA, 2019). O efluente é bombeado juntamente com os produtos químicos que agirão na próxima etapa do tratamento, como sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  com  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ) e polímero aniônico. Ao chegar aos tanques, o efluente passa por fases de coagulação e floculação, respectivamente.

O processo de coagulação se inicia com a neutralização das cargas negativas da mistura, reduzindo a repulsão eletrostática das partículas, processo conhecido como desestabilização. Em seguida, na floculação, as partículas desestabilizadas começam a aglutinar em flocos maiores, separando da fase aquosa por precipitação (SILVA *et al.*, 2019; ZHAO *et al.*, 2021). O efluente tratado é então liberado aos corpos d'água e o material sedimentado é levado até os leitos de secagem.

O leito de secagem é um tanque utilizado para o desaguamento do lodo por processos naturais, devendo apresentar fundo drenante, formado por camadas de areia, brita e tijolos recozidos, e finalizado com um fundo impermeável. O líquido drenado deve retornar ao início

do tratamento na estação (ABNT, 2011). A secagem do lodo objetiva reduzir a umidade a partir da drenagem por gravidade e pela incidência solar direta, de forma a facilitar o transporte e a disposição final (VASCONCELOS, 2020).

Vasconcelos (2020) estudou os processos de tratamento em uma lavanderia no município de Caruaru e observou que a duração da secagem no leito é de 15 a 20 dias em tempo aberto, e de 30 dias em tempo nublado.

Por fim, o lodo drenado é armazenado na área de estocagem em sacos de ráfia. Esta área também permite uma desidratação final do lodo, antes de ser transportado por empresas especializadas até o aterro industrial (VIANA, 2019).

### 3.5. IMPACTOS AMBIENTAIS DO BENEFICIAMENTO DE TÊXTEIS

Estima-se que oitenta bilhões de peças de vestuário são compradas anualmente, com o aumento do poder de consumo, a venda de roupas dobrou nas últimas décadas. Para atender às expectativas do mercado, maior quantidade de peças são produzidas a custos cada vez menores, demonstrando o alto potencial poluidor da indústria da moda (BRENOT *et al.*, 2019).

Lorena *et al.* (2018) elaboraram um estudo voltado à gestão de riscos em lavanderias e concluíram que os riscos ecológicos foram maioria dentre os tipos identificados, chegando a 51% e ultrapassando os riscos à segurança humana, com 44%, e os à segurança de processos, com 5%. Os riscos ecológicos têm potencial de prejudicar o meio ambiente e o bem-estar da população, como a contaminação dos corpos hídricos e do solo por metais pesados.

As lavanderias industriais necessitam de grande volume de água, principalmente nas etapas de lavagem e tingimento, processos onde os produtos indesejados são removidos e os corantes são transportados e fixados aos fios (COURA *et al.*, 2019). Viana *et al.* (2018) realizaram levantamento sobre os processos produtivos em quatro lavanderias industrial têxtil em Caruaru e estimaram que a pegada hídrica é de até 60 litros de água por peça, o que caracteriza a atividade do beneficiamento têxtil como de significativo potencial poluidor.

No agreste pernambucano, a gestão da água se mostra fundamental no cotidiano das lavanderias industriais, a partir da implementação de planos e ações aos processos produtivos, para que seja possível controlar a crise hídrica local e para que possa atender às demandas atuais e futuras (VIANA *et al.* 2018).

Em decorrência do alto consumo de água, as lavanderias apresentam alta geração de efluentes contendo compostos químicos, como o metabissulfito de sódio, que confere ao efluente um odor de enxofre que dificulta a reutilização da água em processos produtivos (VIANA, 2019).

O metabissulfito de sódio é um composto utilizado para neutralizar o permanganato de potássio, aplicado às peças através de pistolas de pressão, cuja exposição causa risco à saúde humana, como sonolência, irritação ocular, dor de cabeça, vertigem e também tem potencial carcinogênico (VIANA, 2019).

Os efluentes resultantes dos processos de beneficiamento contêm altas quantidades de contaminantes, alguns são tóxicos aos seres aquáticos e outros apresentam persistência e difícil degradação no meio ambiente (GREENPEACE INTERNATIONAL, 2012). Quanto maior a descarga de produtos químicos, maior é o impacto ambiental, por isso, as medidas gerenciais incluem a remoção dos poluentes antes do descarte do efluente no ambiente ou produtos alternativos (LUO; LI, 2021).

O lodo têxtil contribui para o cenário de contaminação de solos e águas, e a redução da vida útil de aterros, ao mesmo tempo em que se mostra um custo adicional à indústria por ser encaminhado aos aterros, ainda com alta umidade, por empresas terceirizadas que contabilizam o valor de transporte do resíduo pelo peso (MYMRIN *et al.*, 2016; VIANA, 2019).

O gerenciamento e controle do uso de produtos químicos nos processos de beneficiamento têxtil são essenciais, juntamente com a aplicação de métodos eficazes de avaliação de impactos ambientais dentro das empresas (LUO; LI, 2021).

Os empresários do setor têxtil revelam preocupações quanto ao custo dos processos do beneficiamento, ao licenciamento de outorga, à manutenção do maquinário, às análises de laboratório e ao tratamento dos efluentes líquidos. No entanto, apresentam pouco interesse no que se refere ao consumo e a escassez da água, dado a utilização de poços artesianos (MONTEIRO, 2018).

### 3.6. A CONSTRUÇÃO CIVIL E A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

A produção de bens na indústria da construção civil se inicia pela extração de matéria-prima, normalmente a partir de recursos naturais, seguido pelo transporte e produção de materiais, produtos e equipamentos, como aço, cimento, agregados, materiais cerâmicos e madeira (HENTGES *et al.*, 2021).

Huang *et al.* (2018) afirmam que 94% do dióxido de carbono emitido pela construção civil, no mundo, é proveniente de emissões indiretas, como o uso de produtos derivados do petróleo, utilizados principalmente em transportes e equipamentos, além do carvão e do gás natural.

A indústria da construção civil apresenta cadeias de suprimentos com muitas operações para a realização de projetos, ao mesmo tempo em que conta com insumos cuja produção resulta

em intensiva emissão de carbono (JOHNSSON *et al.*, 2020). A tecnologia apropriada a ser aplicada em um projeto deve ser definida a partir de uma avaliação ambiental, tecnológica, econômica e social do produto, analisando desde o design até a obtenção de materiais (PERO *et al.*, 2017).

Os recursos minerais para a produção de areia podem ser esterilizados pela urbanização, caso não sejam protegidos através de zoneamentos territoriais (MME, 2009). As jazidas utilizadas na extração de areia natural têm se apresentado escassas, dado o alto impacto ambiental causado pela exploração, o que tem gerado demanda por materiais artificiais, como as areias de britagem (CARASEK *et al.*, 2016).

McGinnis *et al.* (2017) revelam que a substituição de agregados naturais por reciclados pode melhorar a sustentabilidade na construção civil, uma vez que esse mercado é responsável por mais da metade das atividades de mineração nos Estados Unidos, o que, juntamente com o uso de energia para processamento e transporte do produto, podem afetar negativamente o meio ambiente. No Brasil, a produção de areia para uso como agregado chegou a 439 milhões de toneladas em 2014 (ANEPAC, 2015). O Ministério de Minas e Energia – MME (2009) projetou que o consumo de areia pode chegar até 1.276 milhões de toneladas em 2030.

A extração de matéria-prima para utilização como agregado pode causar impactos como o gasto de água para o controle de poeiras, o uso e ocupação do solo, o consumo de energia e emissões de gás carbônico dos processos de produção e transporte, enquanto os impactos causados pelo uso de agregados reciclados são 45% menores que os naturais (MCGINNIS *et al.*, 2017).

Com isso, conceitos como o da economia circular têm sido estudados para a aplicação no setor da construção, partindo da ideia do planejamento do ciclo de vida completo dos materiais, para a redução do uso de energia na produção, como também do desperdício de materiais (HENTGES *et al.*, 2021). Se faz indispensável, então, pensar em estratégias relacionadas aos projetos, desde o design até o *retrofit*<sup>3</sup>(CHAREF; EMMITT, 2021), como a escolha dos materiais utilizados na obra.

### 3.7. SISTEMA CONSTRUTIVO: REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

A NBR 13281 define argamassa como uma combinação de aglomerantes, agregados e água, podendo conter aditivos, e que apresentam propriedades e aderência e endurecimento (ABNT, 2005a). As argamassas podem ser classificadas quanto a sua função em: de

---

<sup>3</sup>Revitalização de edifícios sem alterar suas características originais.

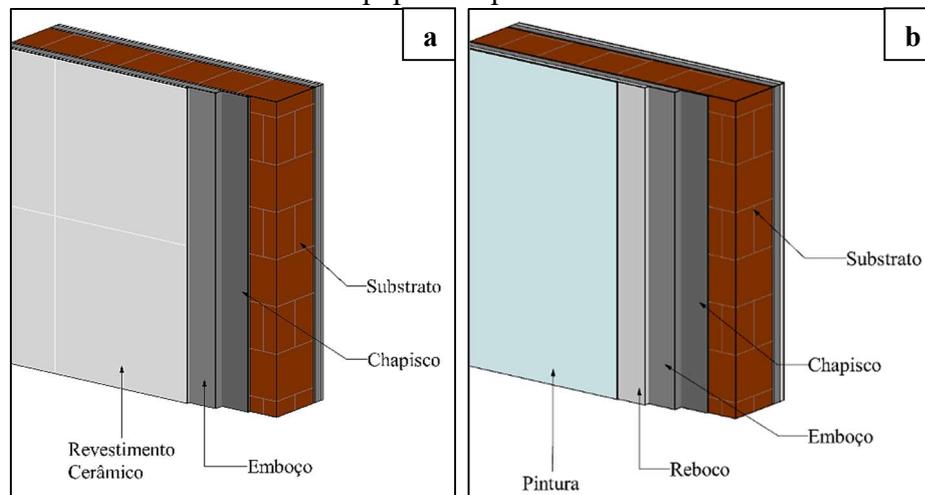
revestimento de paredes e tetos, de revestimento de pisos, de revestimentos cerâmicos, de assentamento de alvenaria e de recuperação de estruturas (CARASEK, 2017).

A aplicação de revestimentos de argamassa tem os objetivos de proteger os elementos de vedação contra as intempéries, contribuir para o isolamento termoacústico, regularizar a superfície de elementos internos e externos, além de ser base para aplicação de acabamentos decorativos (CARASEK, 2017; TOKUDOME, 2020).

A NBR 13529 descreve que o sistema de revestimento de argamassa em paredes e tetos, seja para vedação de substrato cerâmico ou estrutural, é composto por uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa que desempenham diferentes funções (ABNT, 2013a).

O substrato é a base sobre a qual as camadas de revestimento serão aplicadas, o chapisco tem a função de uniformizar a base quanto a absorção de água e aumentar a aderência da base com o emboço, este último, responsável por produzir uma superfície regularizada antes de receber acabamentos como cerâmicas, pedras e placas (Figura 6a). O reboco é o revestimento que encobre o emboço, que constitui a última camada antes de iniciar o sistema de pintura ou de papéis de parede (Figura 6b) (ABNT, 2013a).

Figura 6: Camadas de revestimento para (a) cerâmicas, pedras e placas; (b) e para pintura ou papéis de parede.



Fonte: Adaptado de Carasek (2017).

Carasek (2017) indica que existem propriedades fundamentais para que as funções do revestimento de argamassa sejam obtidas. A trabalhabilidade deve possibilitar a correta aplicação do material, caso contrário o desempenho do revestimento será comprometido, afetando as propriedades no estado endurecido. A retração, relacionada à perda de umidade durante a cura da argamassa, é diretamente proporcional à quantidade de água utilizada na mistura, afetando a porosidade e resistência mecânica (JOSHAGHANI; BALAPOUR; RAMEZANIANPOUR, 2018).

A aderência é a principal propriedade no estado endurecido da argamassa, referente à resistência mecânica diante de tensões aplicadas na superfície ou na interface revestimento-substrato. Considerando a necessidade de estanqueidade e durabilidade do revestimento, a resistência mecânica das argamassas é importante, para que suportem esforços de tração e compressão sem a ocorrência de rupturas e fissuras (CARASEK, 2017; ABNT, 2019a).

### 3.8. ASPECTOS LEGAIS

Segundo Ho *et al.* (2021), a falta de estratégias de tratamento dos efluentes líquidos provenientes das atividades das lavanderias industriais e a escassez de regulamentações quanto ao nível permitido de contaminantes após o tratamento têm sido problemas contínuos. Este tópico elenca os acordos internacionais e as leis brasileiras relacionadas ao objeto de estudo.

#### 3.8.1. Acordos Internacionais

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano ocorreu em 1972 e trouxe às vistas os problemas causados pela forma de desenvolvimento econômico predominante que privilegia o desenvolvimento financeiro à custa de alta degradação ambiental. Neste evento, foi elaborada a Declaração de Estocolmo, que criou “o direito internacional do meio ambiente e o direito humano ao meio ambiente saudável”, em formato de normas flexíveis (HORA; CORREIO, 2017).

Em 1983, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da Organização das Nações Unidas (ONU) realizou uma reunião na Noruega, da qual resultou o Relatório de Brundtland ou “Nosso Futuro Comum” em 1987, um documento que trouxe o conceito mais aceito até hoje de desenvolvimento sustentável. O relatório descreve a necessidade de reduzir as diferenças na distribuição de renda, pois “para que haja um desenvolvimento sustentável, é preciso que todos tenham as suas necessidades básicas atendidas”, e a exploração excessiva dos recursos naturais é obstáculo para alcançar esta igualdade (CMMAD, 1987).

Para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado, a preservação dos recursos naturais é indispensável. Os resíduos sólidos produzidos nos processos de beneficiamento de jeans apresentam potencial de impacto ao meio ambiente e à saúde da população, pois o lodo têxtil carrega os produtos químicos adicionados durante a lavagem e tingimento das peças, compostos inclusive por metais pesados. Estas substâncias são tóxicas e capazes de contaminar o solo e os recursos hídricos em caso de descarte inadequado, podendo acumular em organismos vivos e em plantas.

A Conferência Rio-92 aconteceu na cidade do Rio de Janeiro, contou com a presença de representantes do governo de 178 países. Durante esta reunião, foram elaborados documentos como a Agenda 21 Global, na qual é relatada a necessidade de que os hábitos de consumo sejam revistos, reduzindo a quantidade de resíduos gerados. A Agenda 21 relata que, para além do gerenciamento sustentável dos recursos, uma política voltada ao meio ambiente deve proteger os que dependem dos recursos para sobreviver. Ao mesmo tempo, a sustentabilidade dos recursos deve ser considerada pelo setor de produção de bens, para que não ocorra uma queda na produtividade (ONU, 1992).

Yang *et al.* (2022) afirmam que cerca de 5% dos resíduos produzidos no mundo são provenientes da indústria têxtil. Com isso, conceitos como o de economia circular devem ser aplicados, reutilizando os resíduos industriais em ciclos produtivos e aumentando a vida-útil dos aterros sanitários. Além disso, esse processo agrega valor comercial ao resíduo, dado o potencial de reduzir custos pela substituição de materiais de construção.

No ano de 2000, a ONU reuniu representantes de 191 países para a elaboração da Declaração do Milênio, visando metas como a redução da pobreza extrema, a distribuição de água potável e educação e a diminuição das infecções por HIV. Então, foram elaborados os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), dos quais são pertinentes ao objeto de estudo: o ODM1 – acabar com a fome e a miséria, fatores diretamente ligados ao atual padrão de consumo e à exploração desordenada de recursos naturais, e o ODM7 – garantir a qualidade de vida e respeito ao meio ambiente, frente aos impactos gerados pela disposição inadequada dos resíduos industriais (ONU, 2000).

Considerando os ODM definidos, em 2015 foram elaborados, através de pesquisa participativa, os dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com os propósitos de “acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade”, para que os propósitos da Agenda 2030 sejam alcançados.

Dado o objeto de estudo, destacam-se o ODS 6 - assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, o ODS 8 – buscar o crescimento econômico sustentável com a dissociação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental, o ODS 9 – fortalecer a infraestrutura, incentivar a sustentabilidade e adoção de tecnologias e processos industriais ambientalmente corretos e encorajar a pesquisa científica e a inovação, o ODS 11 – transformar as cidades e comunidades seguras e resilientes, incluindo a redução de resíduos sólidos urbanos e o desenvolvimento das construções sustentáveis, e o ODS 12 – garantir padrões de consumo e produção sustentáveis, buscando o manejo adequado de resíduos e

produtos químicos, minimizando os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana (ONU, 2015).

### 3.8.2. Legislação Brasileira

A Constituição Federal (BRASIL, 1988) dita, no Art. 225, que “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida”, sendo sua defesa e proteção dever da sociedade civil e do Poder Público, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável.

Considerando a estreita ligação entre a qualidade de vida e a possibilidade de desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) foi instituída pela Lei 6.938 (BRASIL, 1981), apresentando diretrizes para sua formulação e aplicação. O objetivo da PNMA é preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental mantendo as condições propícias ao desenvolvimento socioeconômico, à segurança nacional e à proteção da vida humana.

É perceptível que há décadas se relata a estreita ligação entre a qualidade de vida e a possibilidade de desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente. A reintrodução do resíduo sólido produzido nos processos de beneficiamento têxtil busca introduzir uma nova alternativa para seu descarte, ao mesmo tempo em que reduz os custos de transporte para aterros sanitários.

No ano de 2010, foi implementada a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que compõe a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), seus princípios, objetivos, instrumentos e as diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. O artigo 9º da mesma lei diz que deve-se priorizar a seguinte ordem: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final dos rejeitos, sempre de forma ambientalmente adequada, na gestão de resíduos sólidos. Esta lei foi um marco na legislação ambiental no Brasil e reflete diretamente sobre o setor têxtil, uma vez que não é possível não gerar resíduos ao final dos processos produtivos das lavanderias.

No ano de 1975, a legislação brasileira passou a delegar ao setor industrial a responsabilidade por suas atividades, buscando promover a redução ou até a eliminação dos impactos ambientais. A Lei nº 1.413 (BRASIL, 1975) determina o controle da poluição oriunda das atividades das indústrias em território nacional, obrigando-as a providenciar as medidas necessárias para prevenção ou correção de prejuízos da poluição e contaminação do meio ambiente. Posteriormente, foi sancionada a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605), que

descreve as responsabilizações penais e administrativas provenientes de condutas e atividades danosas ao meio ambiente (BRASIL, 1998).

Em 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução nº 1, na qual descreve os critérios e diretrizes para a análise de impactos ambientais, indicando a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) como instrumento da PNMA e, em 1997, a resolução 237 trouxe a descrição dos empreendimentos sujeitos a licenciamento ambiental, estando inclusas a indústria da construção civil e a da indústria têxtil, de vestuários, calçados e artefatos de tecidos, instrumentos essenciais para o controle da poluição e preservação ambiental.

A Lei estadual nº 15.241 (PERNAMBUCO, 2014) proíbe o lançamento de efluentes com corantes não tratados em corpos d'água e classifica-os como contaminantes ambientais. O lodo não é diretamente citado no documento, apesar de ser resultado dos processos de tratamento do efluente têxtil contaminado e de carregar os componentes químicos dos produtos utilizados no beneficiamento.

O município de Caruaru instaurou a Lei nº 5.160 que trata do licenciamento, infrações e fiscalização ambiental, a ser realizada pela Autarquia de Urbanização e Meio Ambiente de Caruaru (URB), dentre outras responsabilidades (CARUARU, 2011). Em Toritama, a Lei Municipal nº 1.643 determina a regulamentação de lavanderias e tinturarias no âmbito municipal através de licenciamento, configurando um instrumento importante para a preservação do meio ambiente, pois indica a realização de monitoramento das atividades e vigilância ambiental (TORITAMA, 2018).

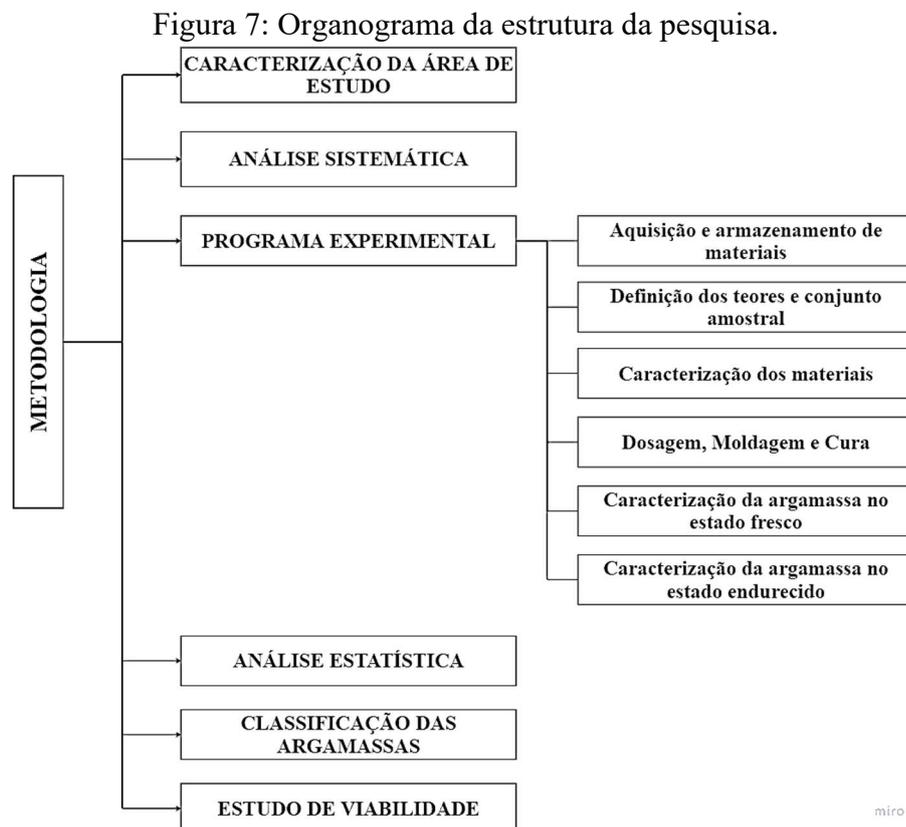
No ano de 2012 foi firmado um acordo entre as empresas da indústria têxtil em Caruaru e o Ministério Público de Pernambuco, que determinava que as lavanderias deveriam tomar medidas para melhoria dos efluentes tratados antes do lançamento aos corpos hídricos, no qual o descumprimento resultaria em aplicação de multa ou fechamento do empreendimento infrator (VIANA, 2019).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura da pesquisa (Figura 7) é composta pelo levantamento de dados relacionados ao objeto de estudo, seguida da descrição dos materiais utilizados e do programa experimental. Dessa forma, o processo metodológico da pesquisa foi dividido em 11 tópicos, sendo o primeiro a caracterização da área de estudo (4.1), seguido da análise sistemática quali-quantitativa, através do levantamento de dados secundários (4.2), pelo qual foi possível mapear os autores, fontes e países com maior relevância e levantar estudos recentes sobre a aplicação de resíduos têxteis na construção civil.

O terceiro tópico (4.3) trata da descrição dos materiais utilizados no programa experimental, iniciado pela descrição da coleta, aquisição e armazenamento, foram detalhados os teores de substituição e o quantitativo de corpos de prova definidos no conjunto amostral no tópico seguinte (4.4). Posteriormente, os aglomerantes, o agregado miúdo e o resíduo foram submetidos a ensaios de caracterização (4.5), os quais auxiliaram nos processos de dosagem, moldagem e cura dos corpos de prova, apresentados na sequência (4.6).

Neste capítulo também constam as caracterizações das argamassas quanto as propriedades no estado fresco (4.7) e endurecido (4.8), seguidas pela análise estatística dos resultados (4.9), pela classificação das argamassas a partir de critérios normativos (4.10) e pelo estudo de viabilidade econômica da metodologia aplicada (4.11).



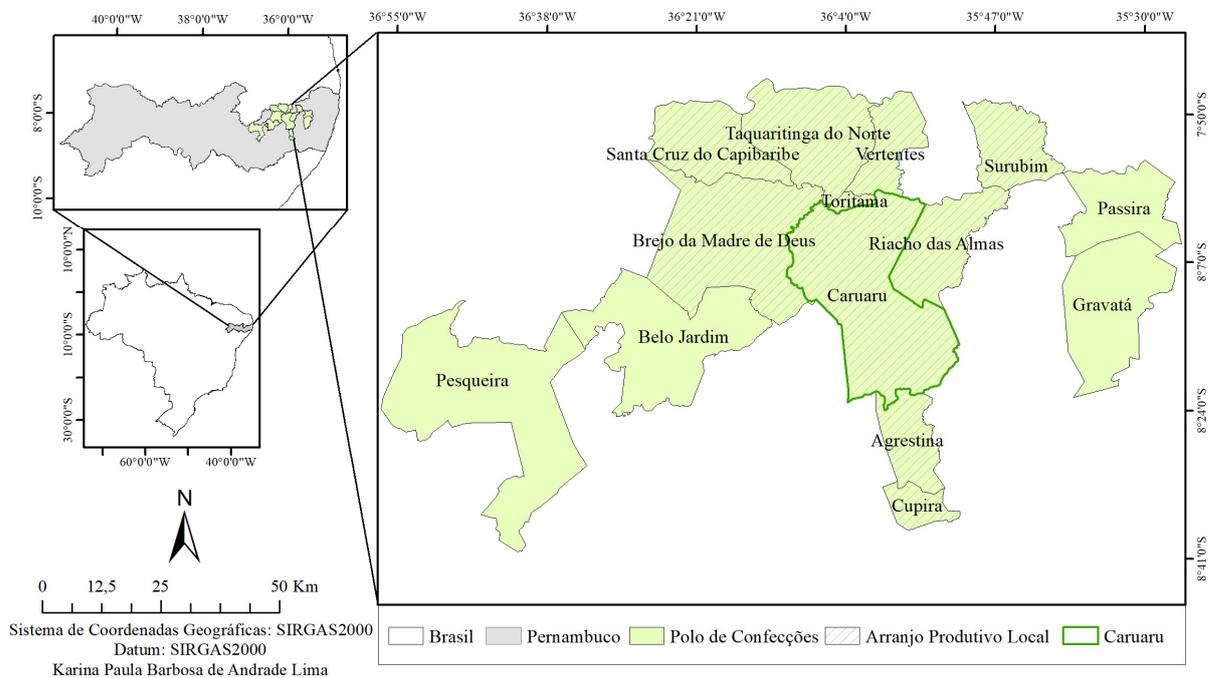
Fonte: Autora (2023).

#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Mesorregião do Agreste de Pernambuco é caracterizada por uma baixa disponibilidade hídrica, sofrendo pela ocorrência de secas. É nesta área onde está localizado o Arranjo Produtivo Local de Confeções de Pernambuco, constituído por empresas de confecção e beneficiamento de peças de *jeans*, com produção de cerca de 4,8 milhões de peças por mês (VIANA *et al.*, 2018).

Segundo o SEBRAE (2013), o Arranjo Produtivo Local do Agreste é constituído por 10 municípios (Figura 8), sendo eles: Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Cupira, Riacho das Almas, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama e Vertentes.

Figura 8: Localização do Polo de confecções, do APL e do município de Caruaru.



Fonte: Autora (2023).

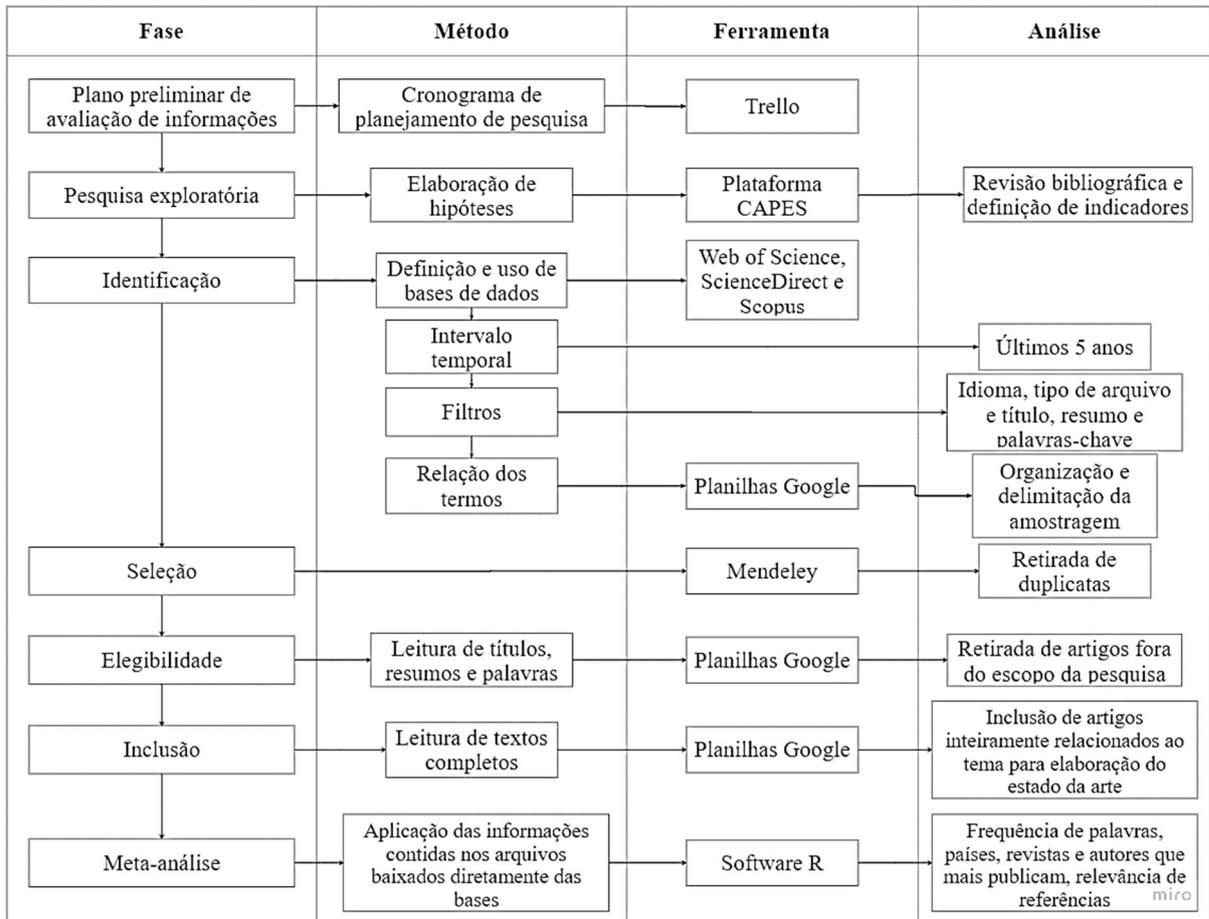
O Polo de Confeções do Agreste conta com quatro municípios além dos que compõem o APL: Agrestina, Belo Jardim, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Cupira, Gravatá, Passira, Pesqueira, Riacho das Almas, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama e Vertentes (SEBRAE, 2013).

As coletas de materiais e as visitas técnicas para a compreensão e observação dos processos produtivos do beneficiamento têxtil foram realizados em lavanderia industrial no município de Caruaru, um dos municípios com maior número de empresas do ramo de confecções e beneficiamento, além de apresentar expressiva quantidade de lavanderias industriais, como retratado por Alves (2020) (Tópico 3.2).

#### 4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS SECUNDÁRIOS

Este tópico trata sobre a análise sistemática dos estudos relacionados a reutilização de resíduos têxteis (Figura 9), através da metodologia PRISMA (Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises), desenvolvida por Moher *et al.* (2009) e que permite o desenvolvimento de revisões e meta-análises a partir de conjuntos de termos.

Figura 9: Organograma estrutural do levantamento dos dados secundários.



Fonte: Autora (2023).

Segundo Moher *et al.* (2009), para a aplicação da metodologia PRISMA, são aplicadas 4 fases durante a seleção dos documentos utilizados na análise sistemática. Inicia-se com a Identificação, fase na qual os termos são aplicados às bases de dados e são obtidos os arquivos encontrados a partir do termo de busca escolhido, na Seleção, ocorre a retirada de duplicatas, na Elegibilidade é feita a leitura de títulos, resumos e palavras-chave, restringindo a amostragem quanto ao foco das pesquisas. Por fim, a Inclusão se dá pela leitura integral dos documentos e análise qualitativa do conteúdo.

Os arquivos contabilizados ao final das fases da PRISMA são utilizados na meta-análise, com os aspectos quantitativos da amostra obtida (MOHER *et al.*, 2009), assemelhando-se a uma análise bibliométrica.

A análise bibliométrica pode ser definida como um método quantitativo e estatístico para o levantamento de indicadores, medição da produção e o alcance das produções científicas acadêmicas, atuando como um espelho da evolução das pesquisas em um campo do conhecimento (VANZ; SANTIN; PAVÃO, 2018). A análise bibliométrica permite perceber e entender as sinergias entre temas e campos de estudo (SAIEG *et al.*, 2018).

Para a estruturação da análise sistemática do objeto de estudo, foram definidos indicadores relacionados ao tema (através de palavras-chaves) e aplicados às bases de dados *Web of Science*, *ScienceDirect* e *Scopus*, bases pertinentes para a aplicação da metodologia, uma vez que contam com parte expressiva da literatura científica atualmente (JOHNSSON *et al.*, 2020). Os indicadores foram definidos a partir de uma pesquisa exploratória não-estruturada, realizada diretamente na plataforma de periódicos CAPES.

A pesquisa inicial viabilizou a leitura de artigos relacionados a materiais de construção, como concretos e argamassas, e resíduos têxteis. A partir das informações adquiridas, elaborou-se a revisão bibliográfica e iniciou-se a aplicação da metodologia PRISMA.

Na fase da Identificação, foram aplicados termos em inglês com operadores booleanos "OR" e "AND". O termo selecionado, a partir da amostragem encontrada foi ("*textile sludge*" OR "*textile waste*") AND ("*composite*" OR "*construction application*"). Dado o alto número de artigos encontrados para o termo, foram aplicados filtros nas bases de dados. Para o refinamento da busca, foram utilizados apenas documentos que respondessem ao termo de pesquisa em seu título, resumo ou palavras-chaves, sendo artigos de revisão ou artigos de pesquisa publicados a partir de 2019, nos idiomas Inglês ou Português.

Também foram utilizados artigos de outras fontes, obtidos a partir de pesquisas no agregador de bases Plataforma de Periódicos Capes. Com isso, a fase de Identificação somou 122 arquivos, 7 obtidos em outras fontes e 115 encontrados nas bases de dados. Destes, apenas 77 eram abertos para leitura, totalizando 84 artigos. Os artigos foram exportados diretamente da base de dados no formato .pdf, para a leitura.

Na fase de Seleção, os arquivos baixados foram aplicados ao software livre Mendeley, para a retirada de duplicatas, contabilizando 67 arquivos distintos. Em seguida, utilizou-se a plataforma Planilhas Google para a análise de títulos, resumos e palavras-chaves, caracterizando a fase de Elegibilidade, somando 50 artigos.

Por fim, foram analisados os textos dos artigos, sendo inclusos os que tratavam do desenvolvimento de algum material relacionado à construção civil e que incorporassem resíduos têxteis. A fase de Inclusão foi finalizada com 32 artigos, que foram utilizados na análise qualitativa (sistemática) e a quali-quantitativa (meta-análise ou bibliometria).

A análise sistemática permitiu o desenvolvimento do estado da arte da aplicação de resíduos têxteis em materiais compósitos voltados à construção civil no Brasil e no mundo, nos últimos 5 anos.

A análise quantitativa se deu a partir do número de publicações através dos anos, a avaliação da distribuição geográfica dos trabalhos e a influência dos países na quantidade de documentos relativos ao tema que foram publicados.

Já a análise quali-quantitativa partiu do cruzamento de informações obtidas a partir da base de dados com a amostragem de artigos, gerando informações como a frequência de palavras, as revistas e os autores que mais publicam, os trabalhos e as referências mais utilizadas pela comunidade científica.

### 4.3. MATERIAIS

Neste tópico são descritos os materiais que foram utilizados durante a pesquisa, incluindo a obtenção, armazenamento e tratamento, quando aplicável.

#### 4.3.1. Lodo Têxtil

O lodo, após a secagem nos leitos na própria lavanderia de *jeans*, foi coletado e armazenado em sacos de rafia (Figura 10). Esse procedimento de armazenamento é realizado pela lavanderia para a drenagem final do lodo, onde o efluente descende pelos espaços entre as tábuas de madeira e é captado no poço. O descarte do resíduo é realizado através de caminhões terceirizados, que levam a carga de resíduo até o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) no município de Jaboatão dos Guararapes. Os sacos utilizados são os mesmos que antes continham o cloreto de sódio, utilizado no processo de beneficiamento como um fixador de corantes de baixo custo e de fácil aquisição.

Figura 10: Área de armazenamento do lodo.



Fonte: Autora (2023).

Para preservar as características do resíduo para o estudo, o lodo foi retirado desses sacos de rafia e acondicionado em baldes plásticos com tampa. Para então ser encaminhado ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Campus Dois Irmãos para a realização da caracterização e beneficiamento.

O material úmido (Figura 11a) passou pelo tratamento de secagem em estufa a 100° C, como feito por Goyal *et al.* (2019) e Kasaw *et al.* (2021), durante 48 horas (Figura 11b). Posteriormente, realizou-se o destorroamento das partículas maiores, a retirada de amontoados de fibras e a trituração em liquidificador (Figura 11c). Por fim, foi efetuado o peneiramento com a abertura de 4,75 mm, a partir da qual o material passante é definido como agregado miúdo (ABNT, 2003), buscando tornar a granulometria semelhante a de uma areia (Figura 11d).

Figura 11: (a) Lodo úmido, (b) seco em estufa, (c) seco e triturado, (d) seco e peneirado.



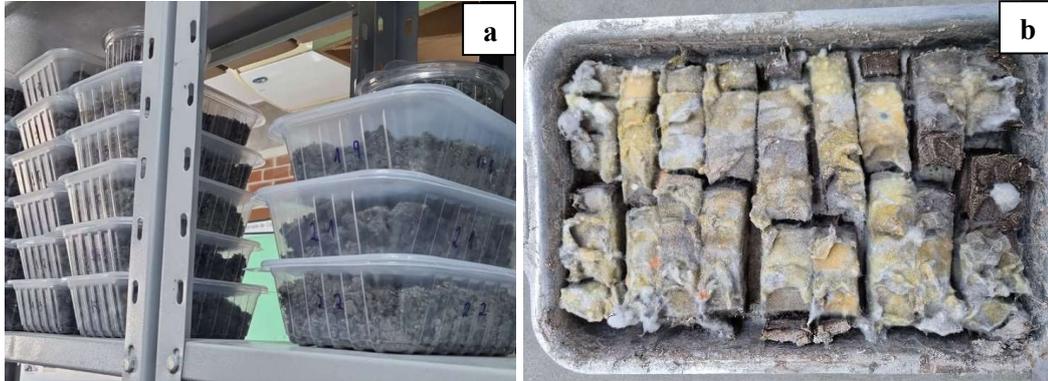
Fonte: Autora (2023).

O tratamento do lodo se deu pela disposição em 9 formas de alumínio, pesadas antes e após a secagem em estufa, para a análise da perda de umidade. Com isso, a trituração e peneiramento se deram por bateladas, enquanto uma nova série de formas eram colocadas para secagem na estufa.

Após o tratamento, o lodo ficou armazenado em vasilhas plásticas com tampa (Figura 12a), o que possibilitou a entrada de umidade e correntes de ar, prejudicando a estabilidade de

algumas amostras através de aparecimento de fungos na superfície (Figura 12b). Para evitar variações nos resultados dos ensaios, tais amostras foram manualmente separadas e descartadas.

Figura 12: (a) Acondicionamento das amostras; (b) Amostras contaminadas por mofo.



Fonte: Autora (2023).

As massas das amostras de lodo tratado foram pesadas e somadas, até alcançar o quantitativo necessário para a realização das moldagens. O material foi despejado em um recipiente de 200 L (Figura 13), revolvido para uniformizar a amostra, quarteado e armazenado em baldes, até o momento das caracterizações e produção das argamassas.

Figura 13: Uniformização do lodo.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.3.2. Cimento

Cunha (2020) afirma que o aglomerante Cimento Portland do tipo CP-II é o mais utilizado no Brasil, com um consumo de aproximadamente 98% no mercado nacional. Na presente pesquisa, o cimento adquirido foi o CP-II F, armazenado em sacos impermeáveis limpos e fechados e elevado do chão, para evitar o contato com umidade.

As características físicas e químicas do cimento utilizado foram fornecidas via boletim técnico do fabricante (Tabela 1), solicitadas de acordo com o lote obtido para os ensaios.

Tabela 1: Boletim técnico do cimento CP-II F.

Características físicas	Unidade	Resultados	Especificação normativa	
Finura	na peneira #200	%	0,03	$\leq 12$
	Blaine	cm <sup>2</sup> /kg	4.440	-
Massa específica		g/cm <sup>3</sup>	3,07	-
Resíduo insolúvel			1,98	$< 7,5$
Tempo de início de pega		min.	175,0	$\geq 60$
Tempo de fim de pega		min.	283,0	$\leq 600$
Resistência à compressão a 1 dia		MPa	15,9	-
Resistência à compressão a 3 dias		MPa	27,6	$\geq 10$
Resistência à compressão a 7 dias		MPa	33,8	$\geq 20$
Resistência à compressão a 28 dias		MPa	40,8	$\geq 32$

Fonte: Cimento Nacional (2023).

#### 4.3.3. Cal

A cal hidratada foi do tipo CH-I, adquirida em loja de construção local e mantida no Laboratório de Materiais de Construção, em sacos impermeáveis limpos e secos, evitando a carbonatação antes da realização dos ensaios de caracterização e as moldagens dos corpos de prova.

#### 4.3.4. Areia

O agregado miúdo inicialmente classificado como areia lavada do tipo média foi adquirido em sacos de 10 kg, também em loja de construção local e mantido no laboratório até os ensaios de caracterização e as moldagens. O lote do material passou por etapas de secagem, quarteamento e caracterização física.

### 4.4. DEFINIÇÃO DOS TEORES E DESCRIÇÃO DO CONJUNTO AMOSTRAL

As argamassas foram misturadas sob o traço de 1:1:6 em massa de cimento, cal e areia, normalmente utilizado no mercado para a preparação de revestimentos (MOHAMAD *et al.*, 2007; CARASEK *et al.*, 2016; GIORDANI; MASUERO, 2019; AMANCIO *et al.*, 2021; NASCIMENTO *et al.*, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2022). O traço foi corrigido com a substituição gradual da areia e as famílias foram nomeadas como “ALT”, em referência a “argamassa com lodo têxtil”, acrescido com valor que indica o teor de incorporação do resíduo (Tabela 2). A relação água/aglomerantes foi definida a partir de ensaios de consistência, como descrito na

NBR 13276 e na NBR 16541 (ABNT, 2016a; ABNT, 2016b), buscando o espalhamento de  $260 \pm 5$  mm. Os teores de lodo utilizados nas argamassas foram de 0 %, 10 %, 20 % e 25 % de lodo seco, aplicado em relação a massa de areia.

Alwared, Jaeel e Ismail (2020) substituíram o agregado miúdo em concretos nos teores de 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % e 30 % e relataram que os resultados de resistência à compressão e de tração na flexão alcançaram valores aceitáveis para concretos leves, de acordo com os limites normativos locais. A partir do ensaio de lixiviação, os autores atestaram que a incorporação do lodo têxtil foi positiva para todos os teores, sugerindo este método como um descarte sustentável para a reutilização do resíduo.

Além da observação dos teores utilizados por outros autores, também foi considerada a quantidade de resíduo a ser incorporada à mistura, de forma a aplicar porções maiores de lodo para o descarte alternativo sugerido. A partir dos traços, é possível calcular que podem ser utilizados 30 kg de lodo tratado para cada saco de cimento de 50 kg, para as argamassas com 10 % de substituição, e 75 kg nas misturas com 25 % de lodo.

Tabela 2: Traço corrigido para as argamassas.

<b>Traço</b>					
Família	Teor	Cimento	Cal	Areia	Lodo
ALT-0	0	1	1	6,00	0
ALT-10	10 %	1	1	5,40	0,60
ALT-20	20 %	1	1	4,80	1,20
ALT-25	25 %	1	1	4,50	1,50

Fonte: Autora (2023).

Dadas as solicitações normativas quanto ao quantitativo mínimo de amostras para cada ensaio, foi possível determinar o conjunto amostral do estudo (Tabela 3). Com isso, foram moldados 72 corpos de prova prismáticos, 36 cilíndricos e 4 painéis de argamassa com medidas de 55 x 60 cm em parede de alvenaria, totalizando 108 corpos de prova e 4 painéis de revestimento.

Tabela 3: Definição do conjunto amostral da pesquisa.

<b>Conjunto Amostral</b>				
Família	Teor	Prismáticos	Cilíndricos	Painéis
ALT-0	0	18	9	1
ALT-10	10 %	18	9	1
ALT-20	20 %	18	9	1
ALT-25	25 %	18	9	1
TOTAL		72	36	4

Fonte: Autora (2023).

## 4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste tópico são descritos os ensaios de caracterização física do agregado miúdo e física, química e mineralógica do lodo têxtil.

### 4.5.1. Massa específica do cimento

A massa específica do cimento foi determinada pela NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica (ABNT, 2017). O frasco de Le Chatelier foi preenchido com querosene até a marcação entre 0 e 1 cm<sup>3</sup> e colocado em banho térmico por 30 minutos, foi registrada a primeira leitura. O cimento foi pesado em cadinho e colocado no frasco com auxílio de espátula metálica e funil de haste curta. O frasco foi novamente levado a banho térmico antes do registro da segunda leitura do volume.

A massa específica foi determinada pela relação entre a massa do aglomerante e a variação do volume:

$$\rho_{\text{esp}} = \frac{M}{V_f - V_i} \quad (1)$$

Sendo:

$\rho_{\text{esp}}$ : massa específica do material [g/cm<sup>3</sup>];

M: massa do material [g];

$V_i$ : volume inicial do líquido utilizado [cm<sup>3</sup>].

$V_f$ : volume final da amostra no líquido [cm<sup>3</sup>].

### 4.5.2. Massa específica da cal

A massa específica da cal foi determinada da mesma forma que a do cimento (tópico 4.5.1), utilizando a NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica (ABNT, 2017).

### 4.5.3. Areia

A caracterização da areia se inicia pela determinação da massa específica, seguida da análise granulométrica e da determinação da massa unitária.

#### 4.5.3.1. Determinação da massa específica e absorção de água

A NBR 16916 (ABNT, 2021a) indica a metodologia para a determinação da densidade na condição seca, saturada de superfície seca e da absorção da água pelo agregado miúdo. Segundo a mesma norma, densidade e massa específica são termos equivalentes. A amostra de areia utilizada para o ensaio deve ser a passante na peneira de malha 4,75 mm e retida na de 150  $\mu\text{m}$ .

A amostra foi submetida a saturação em água, seguida pela a secagem ao ar de  $24 \pm 4$  horas e colocada em molde tronco-cônico, recebendo golpes da haste metálica. Caso o agregado se mantivesse no formato do molde, a secagem prosseguiu até que a amostra desmoronasse (Figura 14a), como esperado na condição de saturação superfície seca. Posteriormente, o material foi pesado antes e depois de colocado no frasco de vidro (Figura 14b) (ABNT, 2021a). Os resultados expressam a densidade do agregado na condição seca:

$$\rho_s = \frac{M_a}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_s$ : densidade do agregado na condição seca [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ];

$M_a$ : massa da amostra seca em estufa [g];

$V$ : volume do frasco [ $\text{cm}^3$ ];

$V_a$ : volume da água adicionada ao frasco [ $\text{cm}^3$ ], dada pela equação:

$$V_a = \frac{M_d - M_c}{\rho_a} \quad (3)$$

Sendo:

$M_d$ : massa do conjunto frasco e amostra na condição saturada superfície seca [g];

$M_c$ : massa da amostra na condição saturada superfície seca [g];

$\rho_a$ : densidade da água na temperatura do banho [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].

Assim como a densidade do agregado na condição saturada superfície seca, dada pela seguinte equação:

$$\rho_{sss} = \frac{M_b}{V - V_a} \quad (4)$$

Onde:

$\rho_{sss}$ : densidade do agregado na condição saturada superfície seca [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ];

$M_b$ : massa da amostra na condição saturada superfície seca [g];

$V$ : volume do frasco [ $\text{cm}^3$ ];

$V_a$ : volume da água adicionada ao frasco [ $\text{cm}^3$ ].

E a absorção de água do agregado, calculada pela equação:

$$\text{Abs} = \frac{M_b - M_a}{M_a} \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

Abs: absorção de água [%];

$M_a$ : massa da amostra seca em estufa [g];

$M_b$ : massa da amostra na condição saturada superfície seca [g].

Figura 14: (a) Amostra em condição de saturação superfície seca; (b) frasco empregado no ensaio de determinação da densidade e absorção de água.



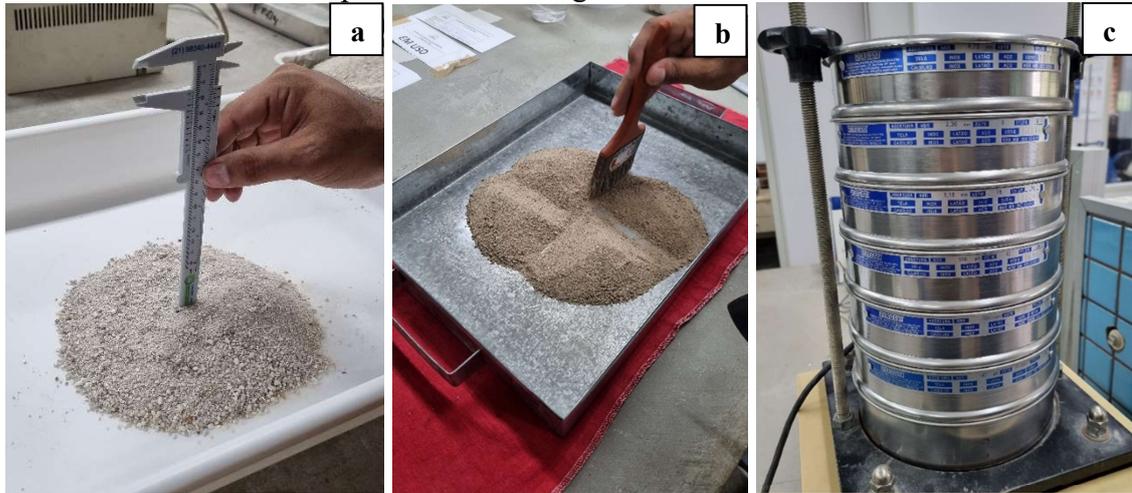
Fonte: Autora (2023).

#### 4.5.3.2. Composição Granulométrica

A composição granulométrica do agregado miúdo foi determinada pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). O procedimento se iniciou com a secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, então, a amostra foi colocada sobre superfície lisa, revolvida três vezes e moldada manualmente em formato de tronco de cone com diâmetro até 8 vezes maior que a altura (Figura 15a). Posteriormente, executou-se o quarteamento da amostra e foram retirados dois quartos diametralmente opostos (Figura 15b), como preconizado na NM 27 (ABNT, 2000), devendo conter uma massa mínima de 300 gramas, dada a dimensão dos grãos da areia após inspeção visual.

Em seguida, a amostra foi colocada na série sequencial de peneiras, de aberturas 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ , sobreposta ao agitador mecânico pelo tempo de 10 minutos e frequência de 6 Hz (Figura 15c). As peneiras retiradas foram balançadas manualmente, para garantir que todo o material realmente se estabeleceu como passante e retido. A amostra retida em cada peneira foi pesada em balança com 0,1 g de precisão, resultando nos percentuais retidos e acumulados em cada malha, para a elaboração dos gráficos da análise granulométrica e as informações necessárias para calcular o módulo de finura (ABNT, 2003).

Figura 15: (a) Preparação da amostra de areia; (b) quartear do material; (c) série de peneiras sobre o agitador mecânico.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.5.3.3. Massa Unitária

O ensaio para determinação da massa unitária e do índice de vazios do agregado miúdo foi realizado a partir das diretrizes da NBR 16972 (ABNT, 2021b). Após a secagem da amostra a  $105 \pm 5^\circ \text{C}$  por 24 h, a areia foi colocada em um recipiente de dimensões pré-definidas (Tabela 4). O volume foi calculado a partir da massa de água, colocada até o topo do recipiente, e da densidade do líquido corrigida para a temperatura aferida.

Tabela 4: Características do recipiente utilizado no ensaio.

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Recipiente		
	Capacidade mínima (dm <sup>3</sup> )	Diâmetro interior (mm)	Altura interior (mm)
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 \leq d \leq 50$	15	260	282
$50 < d \leq 75$	30	360	294

Fonte: NBR 16972 (ABNT, 2021b).

A norma descreve métodos para três tipos de materiais, o método A para material compactado, com dimensão máxima de 37,5 mm, o B para material compactado com dimensão máxima superior a 37,5 mm e inferior a 75 mm, e o método C, que deve ser utilizado para material no estado solto (ABNT, 2021b).

Empregando o método C, a massa do recipiente vazio foi determinada e o preenchimento do mesmo ocorreu em seguida. Utilizando uma concha, a areia foi despejada a uma distância mínima de 50 mm acima da borda do recipiente (Figura 16a), até a altura necessária para o rasamento. O conjunto foi pesado e os valores aplicados as seguintes equações, para a determinação da massa unitária e do índice de vazios (Figura 16b):

$$\rho_{ap} = \frac{M_{ar} - M_r}{V} \quad (6)$$

Sendo:

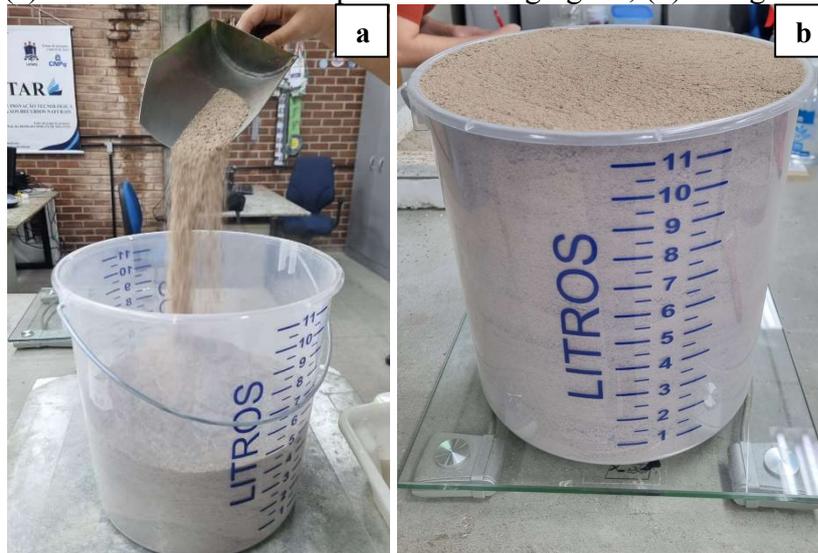
$\rho_{ap}$ : massa unitária do agregado [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$M_{ar}$ : massa do recipiente com agregado [kg];

$M_r$ : massa do recipiente vazio [kg];

$V$ : volume do recipiente [ $\text{m}^3$ ].

Figura 16: (a) Preenchimento do recipiente com o agregado, (b) Pesagem do conjunto.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.5.4. Lodo Têxtil

O resíduo têxtil foi caracterizado em estado natural quanto ao teor de umidade, o teor de matéria orgânica, composição granulométrica, difração de raio-X (DRX), fluorescência raio-X (FRX), análise térmica (ATD/TG), massa específica e massa unitária.

##### 4.5.4.1. Teor de Umidade

A NBR 6457 (ABNT, 2016c) foi utilizada para determinar o teor de umidade das amostras, sem secagem prévia. Foram tomados no mínimo 30 gramas do lodo, como determinado para partículas de dimensões menores que 2 mm, colocados em cadinhos de porcelana enumerados e previamente pesados (Figura 17a). As amostras foram submetidas a secagem de  $105^\circ\text{C}$  a  $110^\circ\text{C}$  em estufa (Figura 17b), em um intervalo de 16 a 24 horas ou até que se alcance a massa constante (Figura 17c). Com os valores da amostra úmida e seca, foi calculado o teor de umidade do lodo têxtil, a partir da seguinte equação:

$$h = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (7)$$

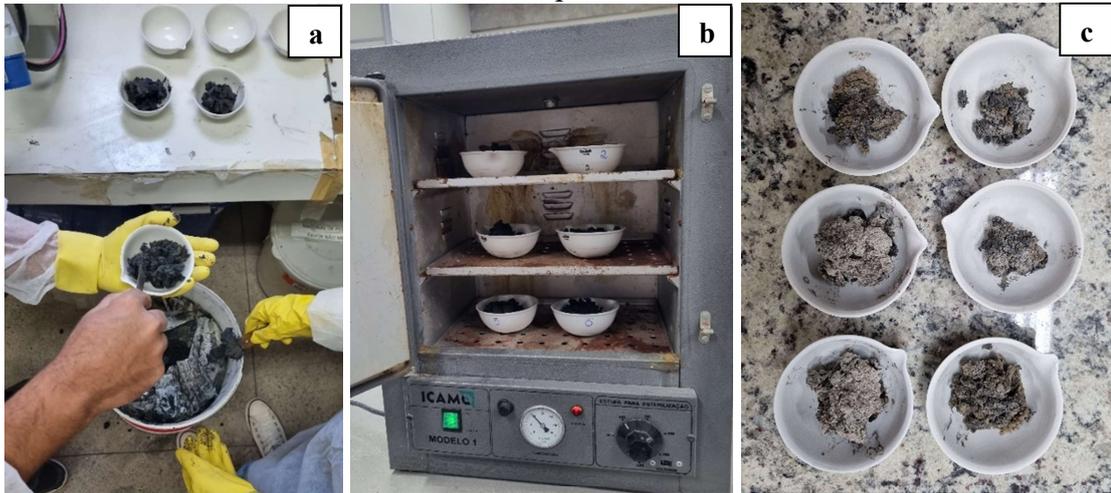
Sendo:

$h$ : umidade do material [%];

$M_u$ : massa úmida do material [g];

$M_s$ : massa seca do material [g].

Figura 17: (a) Preparação das amostras; (b) cadinhos contendo amostras na estufa; (c) amostras após ensaio.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.5.4.2. Teor de Matéria Orgânica

Para determinar o teor de matéria orgânica utilizou-se a metodologia descrita por Souto (2017), que se iniciou pela secagem do lodo em estufa e utilização de 10 gramas de amostra em cadinho previamente pesados e enumerados. O conjunto foi submetido à temperatura de 600° C em mufla pelo período de 8h (Figura 18). Com os valores das massas inicial e final, após a combustão, foi calculado o percentual de matéria orgânica:

$$M_o = \frac{M_i - M_f}{M_i} \quad (8)$$

Onde:

$M_o$ : teor de matéria orgânica [%];

$M_i$ : massa inicial do material [g];

$M_f$ : massa final após combustão [g].

Figura 18: Cadinho contendo amostra para calcinação em mufla.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.5.4.3. Composição Granulométrica

As amostras secas de lodo passaram pelo tratamento de trituração e peneiramento inicial pela peneira de 4,75 mm, a partir da qual o material passante na peneira e retido na peneira de 0,150 mm é determinado como agregado miúdo.

O procedimento se assemelha ao da composição granulométrica da areia (tópico 4.5.1.2), seguindo as instruções da NM 27 (ABNT, 2000) para a preparação da amostra (Figura 19a, b), e da NBR NM 248 (ABNT, 2003) para a execução do peneiramento (Figura 19c, d), em que o lodo seco e triturado passa pelo jogo de peneiras e as amostras retidas foram pesadas para obtenção do módulo de finura e dos percentuais de material retido em cada abertura. A série de peneiras foi revestida por fita crepe, para evitar a perda de material durante a agitação, devido à presença de partículas finas.

Figura 19: (a) Preparação da amostra de lodo; (b) quartear do material; (c) jogo de peneiras sobre o agitador; (d) peneiramento manual das peneiras.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.5.4.4. Difração Raios-X

O ensaio de Difração Raios-X (DRX) permitiu a determinação da composição mineralógica do resíduo, o qual foi realizado pelo método do pó em equipamento *Bruker D2 PHASER*, operando com voltagem de 30 kV e corrente de 10 mA ( $P = 300 \text{ W}$ ), radiação  $\text{Cu-K}\alpha = 1,54060 \text{ \AA}$  e usando detector *Bruker-AXS-Lynxeye*. A faixa de varredura ( $2\theta$ ) foi de  $4^\circ$  a  $80^\circ$ , com passo do goniômetro de  $0,02019^\circ$  e rotação constante da amostra de 10 rpm. A abertura da fenda primária foi de 0,4 mm, a faca utilizada foi de 3 mm e o tempo de contagem por passo de 0,5 segundo.

#### 4.5.4.5. Fluorescência Raios-X

A amostra seca foi prensada em cápsula de alumínio com 30 toneladas de força. A pastilha prensada foi analisada em espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku modelo ZSX Primus II, equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores.

#### 4.5.4.6. Análise Térmica (ATD/TG)

As curvas da ATD-TG foram obtidas simultaneamente utilizando o equipamento *Shimadzu DTG – 60H*, com taxa de aquecimento de  $15 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ . A temperatura máxima estabelecida foi de  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . A atmosfera para a realização das análises foi de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) com fluxo constante de  $50 \text{ ml}/\text{min}$ . Empregou-se como amostra de referência a alumina calcinada. O porta-amostra utilizado foi um cadinho de alumina cilíndrico. As medidas foram realizadas com aproximadamente 50 mg de cada alíquota.

#### 4.5.4.7. Massa Específica

A NBR 11513 (ABNT, 2016d) descreve os procedimentos para a determinação da massa específica com o uso do frasco volumétrico de Le Chatelier. O ensaio se iniciou pela inserção de um líquido não reagente e de densidade menor que o do material ensaiado, sendo utilizado a querosene, seguido do lodo com um funil, o frasco foi levado a banho termorregulador para obtenção do equilíbrio térmico. Em seguida, a leitura inicial do volume foi registrada e o material granular foi inserido no frasco com o auxílio de um funil seco, para que não houvesse aderência do material com as paredes do gargalo do frasco.

Posteriormente, o frasco foi submetido a movimentos pendulares para a eliminação de bolhas de ar e, então, realizado o segundo banho térmico (Figura 20a), seguido da segunda leitura (Figura 20b).

Figura 20: (a) Frasco em banho térmico; e (b) Le Chatelier durante ensaio.



Fonte: Autora (2023).

De forma semelhante ao cimento (tópico 4.5.1.1), o resultado foi obtido a partir da relação entre a massa do material granular utilizado com a diferença do volume antes e depois da inserção do lodo (ABNT, 2016d):

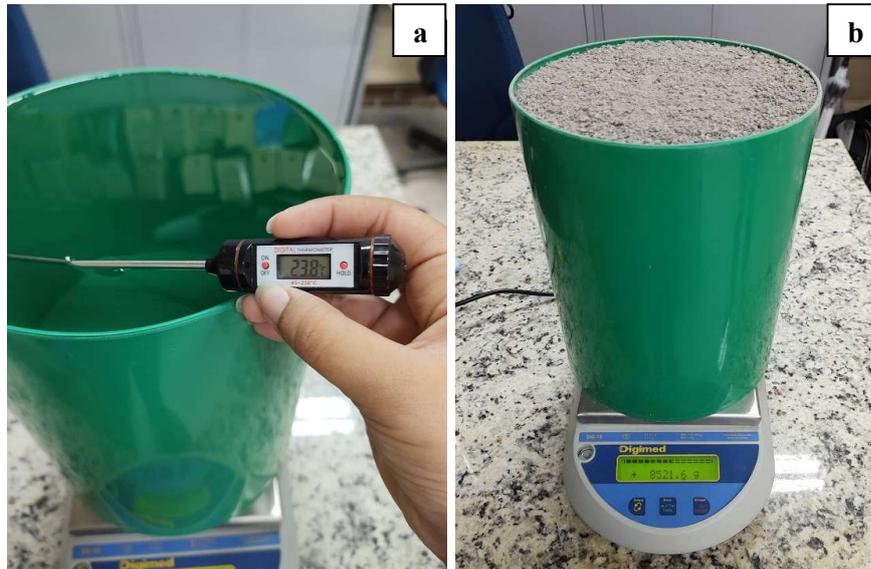
$$\rho_{\text{esp}} = \frac{M}{V_f - V_i} \quad (9)$$

#### 4.5.4.8. Massa Unitária

O ensaio para determinação da massa unitária do lodo ocorreu de forma semelhante à descrita no item 4.5.1.3, seguindo as determinações da NBR 16972 (ABNT, 2021b). Como o resíduo foi tratado de forma a apresentar granulometria semelhante a areia, o recipiente utilizado apresentou as mesmas dimensões mínimas do ensaio citado. O volume do mesmo foi calculado a partir da massa de água, colocada até o topo do recipiente, e da densidade do líquido corrigida para a temperatura aferida (Figura 21a).

O método empregado também foi o C, como no item 4.5.1.3, para a determinação da massa unitária de material em estado solto. O recipiente vazio e o conjunto foram pesados e os valores aplicados à equação (Eq. 6) para a determinação da massa unitária (Figura 21b).

Figura 21: (a) Aferição da temperatura da água para correção da densidade; (b) pesagem do conjunto amostra + recipiente.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.6. DOSAGEM, MOLDAGEM E CURA

Os volumes de materiais necessários para a produção dos corpos de prova foram calculados a partir do traço determinado e dos teores de substituição. O preparo da mistura seguiu as diretrizes da NBR 16541 (ABNT, 2016b), que instrui sobre o preparo de argamassas para a realização de ensaios.

A mistura teve início pela pesagem da massa de materiais secos e da água, que variou de acordo com o traço à medida que o resíduo foi incorporado. Essa alteração da quantidade de água foi necessária para que as argamassas apresentassem os valores adequados no intervalo do índice de consistência.

O material seco foi colocado em um recipiente e misturado em velocidade baixa para uniformizar a mistura (Figura 22a), em seguida, foi acrescentado 75% da massa de água, iniciando a mistura mecânica até completar o tempo de 30 segundos. Aumentou-se a velocidade de mistura, permanecendo por mais 60 segundos (Figura 22b). Após este período, deu-se uma pausa no misturador para efetuar a raspagem as paredes do recipiente e manter a argamassa em descanso durante 90 segundos (Figura 22c). Em seguida, o misturador foi novamente acionado em velocidade baixa, foi adicionado o 25% restante da massa de água, por 10 segundos. A processo seguiu em velocidade alta até completar 90 segundos.

Figura 22: (a) Homogeneização dos materiais secos; (b) mistura da argamassa em alta velocidade; (c) pausa para a raspagem das paredes do recipiente.



Fonte: Autora (2023).

Após a mistura, o recipiente foi coberto com pano úmido, para evitar a secagem antes e durante o ensaio de consistência. Atestada a trabalhabilidade adequada, as argamassas foram moldadas.

Para a determinação das relações água/aglomerantes, a consistência foi fixada, devendo permanecer no intervalo de espalhamento de  $260 \pm 5$  mm. Desta forma, foi possível obter argamassas trabalháveis, sem comprometer o desempenho das misturas durante a aplicação.

A moldagem e a cura dos corpos de prova seguiram as instruções determinadas pela NBR 7215 (ABNT, 2019b), que descreve os procedimentos para a execução de corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm em cura úmida, e pela NBR 13279 (ABNT, 2005b), que prescreve os passos para o preparo dos corpos de prova prismáticos de 4 x 4 x 16 cm, indicando a cura a seco (Quadro 1). O desmoldante utilizado foi um ácido oleico de cor branca, aplicado com trincha com cerdas sintéticas.

Quadro 1: Descrição do tipo de cura para os corpos de prova da pesquisa.

Tipo de corpo de prova	Tipo de cura	Ensaio	Norma
Cilíndrico (5x10cm)	Úmida	Absorção de água e índice de vazios	NBR 9778 (ABNT, 2005c)
Prismático (4x4x16cm)	Seca	Absorção de água por capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005d)
		Densidade de massa aparente	NBR 13280 (ABNT, 2005e)
		Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005b)
		Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005b)

Fonte: Autora (2023).

#### 4.7. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Os ensaios de caracterização para o estado fresco ocorreram simultaneamente às moldagens, de forma a confirmar os requisitos mínimos para cada uma das argamassas previamente a moldagem e a cura dos corpos de prova.

##### 4.7.1. Índice de Consistência

A NBR 13276 (ABNT, 2016a) estabelece os procedimentos para determinação do índice de consistência das argamassas. O ensaio iniciou-se pela umidificação da mesa de consistência, sobre a qual foi colocado o molde tronco-cônico de forma centralizada. A argamassa foi inserida no molde imediatamente após a mistura em três camadas seguidas com alturas semelhantes e aplicados 15, 10 e 5 golpes respectivamente em cada uma (Figura 23a).

Após o rasamento (Figura 23b), o molde foi retirado verticalmente (Figura 23c) e aplicados 30 golpes com a mesa de consistência, que realiza o movimento de uma queda a cada segundo. Então, são medidos três diâmetros após o espalhamento da argamassa (Figura 23d), calculado o índice de consistência e registrados os teores de materiais secos e a relação água cimento da mistura (ABNT, 2005a).

Figura 23: (a) Moldagem do tronco de cone; (b) rasamento do molde tronco-cônico; (c) argamassa após a retirada do molde; (d) argamassa espalhada após ensaio.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.7.2. Densidade de massa

O ensaio da densidade de massa das argamassas é descrito pela NBR 13278 (2005f). Foi utilizada uma cápsula de alumínio de massa e volume conhecidos, onde a argamassa foi inserida logo após o preparo, em três camadas uniformes e aplicados 20 golpes. Após o preenchimento, foram efetuadas três quedas de aproximadamente três centímetros, o rasamento do recipiente e a pesagem do conjunto (Figura 24).

Figura 24: Pesagem da amostra após a mistura.



Fonte: Autora (2023).

Os valores foram utilizados na seguinte equação:

$$d = \frac{M_c - M_v}{V_r} \times 1000 \quad (10)$$

Representando:

d: densidade de massa da argamassa fresca [ $\text{kg/m}^3$ ];

$M_c$ : massa do recipiente cilíndrico com a argamassa [g];

$M_v$ : massa do recipiente cilíndrico vazio [g];

$V_r$ : volume do recipiente cilíndrico [ $\text{cm}^3$ ].

#### 4.8. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Os ensaios de caracterização das argamassas em estado endurecido foram realizados após o período de cura dos corpos de prova, representando as possíveis alterações ocorridas durante os processos de hidratação e endurecimento das argamassas.

#### 4.8.1. Densidade de massa aparente

A metodologia para a determinação da densidade de massa aparente para argamassas no estado endurecido é descrita pela NBR 13280 (ABNT, 2005e). As arestas dos corpos de prova moldados e curados em 28 dias foram mensurados com o auxílio de um paquímetro e a massa aferida com balança de precisão 0,1 g. A densidade de massa dos corpos de prova foram obtidas a partir da equação:

$$\rho_{\text{máx}} = \frac{M}{l \times h \times c} \times 1000 \quad (11)$$

Onde:

$\rho_{\text{máx}}$ : densidade de massa aparente [kg/m<sup>3</sup>];

M: massa do corpo de prova [g];

l: largura [cm];

h: altura [cm];

c: comprimento do corpo de prova [cm].

#### 4.8.2. Resistência à tração na flexão

Seguindo a NBR 13279 (ABNT, 2005b), a ruptura dos corpos de prova para o ensaio de tração na flexão foi realizada aos 28 dias, com tolerância de 8 horas. Os corpos de prova prismáticos de dimensões 4 x 4 x 16 cm foram posicionados no centro do dispositivo de apoio da prensa, onde foi aplicada a carga até a ruptura (Figura 25). A resistência à tração na flexão foi calculada a partir da relação entre a carga aplicada e a distância entre os suportes do apoio.

Figura 25: Rompimento de corpo de prova prismático no ensaio de resistência à tração na flexão.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.8.3. Resistência à compressão

As metades dos corpos de prova rompidos no ensaio à tração na flexão foram utilizados para o ensaio resistência à compressão, como detalha a NBR 13279 (ABNT, 2005b), posicionados no dispositivo de apoio de forma que a parte rasada não fique em contato com a superfície (Figura 26). Cargas foram aplicadas até o rompimento dos corpos de prova e a resistência à compressão foi calculada a partir da relação entre a carga máxima aplicada e a área da seção do dispositivo de carga.

Figura 26: Corpo de prova posicionado no dispositivo Rilem para compressão.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.8.4. Absorção de água e índice de vazios

A norma NBR 9778 (ABNT, 2005c) determina as diretrizes para a realização do ensaio de absorção de água para concretos e argamassas no estado endurecido. Os corpos de prova cilíndricos foram ser submetidos a secagem em estufa à temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  por 72 horas e pesados.

Então, as amostras foram imersas em água por 72 h à temperatura ambiente, para ocorresse a saturação das argamassas. Em seguida, os corpos de prova foram posicionados em uma panela com uma base, para que não ficassem em contato direto com o fundo, e passaram por fervura durante 5 h (Figura 27).

Figura 27: Fervura dos corpos de prova para ensaio de absorção e índice de vazios.



Fonte: Autora (2023).

Após o resfriamento, as massas foram registradas para cálculo de absorção:

$$A = \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (12)$$

Sendo:

A: absorção de água [%];

$M_{\text{sat}}$ : massa da amostra saturada após a imersão e fervura [g];

$M_s$ : massa da amostra seca em estufa [g].

Assim como para o cálculo do índice de vazios presentes nas argamassas:

$$I_v = \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s - M_i} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

$I_v$ : índice de vazios [%];

$M_i$ : massa da amostra saturada em pesagem hidrostática após fervura [g].

#### 4.8.5. Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado com corpos de prova prismáticos após a cura a seco por 28 dias. Os prismas foram lixados nas superfícies, pesados e posicionados verticalmente sobre suportes que impeçam que os prismas fiquem com a face inferior em contato direto com o fundo, como especificado pela NBR 15259 (ABNT, 2005d). O recipiente foi preenchido com água até a altura de  $5 \pm 1$  cm, a qual foi monitorada e mantida durante todo o período do ensaio (Figura 28).

Figura 28: Corpos de provas dispostos sobre tela metálica.



Fonte: Autora (2023).

A determinação das massas foi realizada após 10 e 90 minutos e a absorção determinada a partir da diferença da massa após e antes do contato com a água, dividido pela área da seção quadrada do corpo de prova (ABNT, 2005d):

$$A_t = \frac{M_t - M_0}{16} \quad (14)$$

Significando:

$A_t$ : absorção de água por capilaridade, para os tempos de 10 e 90 minutos [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ];

$M_t$ : massa do corpo de prova em cada tempo [g];

$M_0$ : massa inicial do corpo de prova [g];

16: área da seção do corpo de prova [ $\text{cm}^2$ ].

O coeficiente de capilaridade foi calculado através da seguinte expressão:

$$C = (M_{90} - M_{10}) \quad (15)$$

Onde:

$C$ : coeficiente de capilaridade [ $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ];

$M_{90}$ : massa do corpo de prova após 90 minutos de ensaio;

$M_{10}$ : massa do corpo de prova após 10 minutos de ensaio.

#### 4.8.6. Resistência de aderência à tração

A NBR 13528-2 (ABNT, 2019c) especifica que o ensaio de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa pode ser realizado sobre painéis de alvenaria, blocos cerâmicos, placas de concreto, dentre outros.

O ensaio foi realizado sobre parede de alvenaria, com blocos cerâmicos de  $9 \times 19 \times 19$  cm. Foram aplicadas as 4 famílias de argamassa, diretamente sobre o substrato, em espessuras de 2

a 2,5 cm, como descrito pela NBR 13749 (ABNT, 2013b) para revestimento de parede externa (Tabela 5).

Tabela 5: Espessuras admissíveis para revestimentos.

Revestimento	Espessura - e (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013b).

Foram executados 4 painéis para as argamassas sem e com a incorporação do lodo, contando com 12 pontos de ensaio, demarcados com 5 cm de distância entre si e dos cantos e quinas.

Após a perfuração com auxílio de serra-copo, realizou-se a limpeza da superfície de ensaio, seguida da preparação da cola. O material adesivo utilizado foi um composto de adesivo epóxi de média fluidez, o qual foi aplicado sobre as pastilhas metálicas. Estas foram coladas no centro do corpo de prova, permanecendo até o momento do ensaio, que ocorreram 24h após o procedimento.

A NBR 13749 (ABNT, 2013b) define critérios mínimos para a resistência de aderência à tração (Tabela 6), indicando que o valor médio para parede interna como base para reboco ou pintura é de 0,20 MPa, e para parede externa é de 0,30 MPa.

Tabela 6: Limites de resistência de aderência à tração.

Aplicação	Acabamento	Resistência [MPa]	
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto		$\geq 0,30$	

Fonte: Adaptado de NBR 13749 (ABNT, 2013b).

## 4.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

### 4.9.1. Estatística descritiva

A análise das estatísticas descritivas foi realizada para resumo e avaliação de informações sobre os dados estudados nas amostras, utilizados para a tomada de decisão e para a estruturação de modelos estatísticos paramétricos.

Para isso, os dados foram organizados em ordem crescente e divididos por quartis. Um quartil é o valor que divide um conjunto de dados em quatro partes iguais. A partir dos valores

dos quartis e dos máximos e mínimos obtidos nos conjuntos de dados, foram elaborados gráficos *boxplot*, que possibilitam a visualização da dispersão, da simetria e das discrepâncias (*outliers*) da amostra (MASIERO, 2017).

O primeiro quartil (Q1) dividiu a amostra em 25% dos valores menores dos 75% dos maiores, o segundo quartil (Q2) ou mediana dividiu o conjunto de dados em duas metades iguais, em 50% dos valores abaixo e 50% dos valores acima, e o quartil 3 (Q3) repartiu a amostra em 75% dos valores menores e 25% dos valores maiores.

Santos (2023) afirma que o *boxplot* é uma ferramenta que permite observar as características da distribuição, sem que seja necessário expressar especificamente cada valor individual da amostra. Além disso, evidencia a presença de valores anômalos, que podem causar alterações nos resultados obtidos (SANTOS, 2023).

O tamanho da caixa é denominado faixa interquartil, foi calculado pela diferença entre Q3 e Q1. A partir deste intervalo, é possível analisar a dispersão entre as amostras de diferentes traços. O limite inferior foi definido pela diferença entre o Q1 e 50% da faixa interquartil (Eq. 20) e o limite superior foi determinado pela soma de Q3 com 50% da faixa (Eq. 21). Os valores que extrapolam estes limites são considerados discrepantes ou *outliers*, pois fogem do padrão geral da distribuição (Figura 29).

$$L_i = Q1 - 1,5 \cdot \text{Fiq} \quad (16)$$

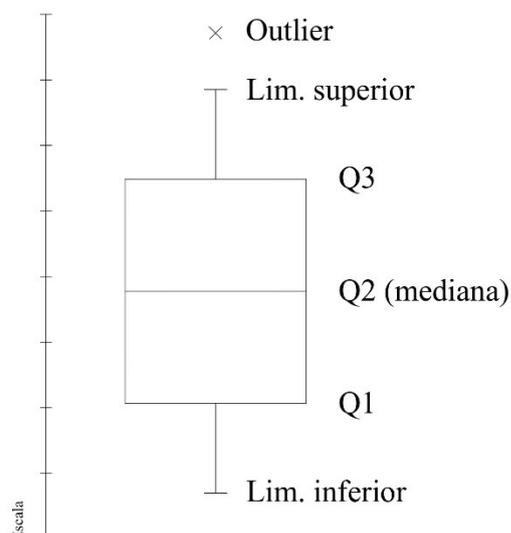
Onde:

Li: limite inferior;

Fiq: faixa interquartil.

$$L_s = Q3 + 1,5 \times \text{Fiq} \quad (17)$$

Figura 29: Componentes do gráfico *boxplot*.



Fonte: Adaptado de Masiero (2017).

Esta análise foi aplicada aos resultados dos ensaios de densidade de massa aparente, resistência à compressão, resistência à tração, absorção de água e índice de vazios, absorção por capilaridade e aderência. A elaboração dos gráficos foi realizada com auxílio do *software* estatístico Minitab – versão gratuita.

#### 4.9.2. Testes Estatísticos

Para atestar a normalidade dos dados, foram aplicados os testes com auxílio do *software* R. O teste de Shapiro-Wilk determinou que as amostras apresentaram distribuição normal a partir da aceitação da hipótese nula, que ocorre quando o p-valor é maior que 0,05. De forma semelhante, o teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que a hipótese nula também foi verdadeira, em que foi confirmada que a amostra segue a distribuição de Poisson ( $\lambda = 1,2$  e p-valor  $> 0,05$ ).

Após constatar que amostras apresentam distribuição normal, aplicou-se a Análise de Variância (ANOVA), que indica se existem ou não diferenças significativas nos tratamentos.

A ANOVA é um método comumente usado para identificar fontes de variação e testar sua significância, permitindo avaliar as relações entre os fatores controlados em um experimento (BERTINETTO; ENGEL; JANSEN, 2020). É um procedimento que decompõe a variação total de uma amostra dentre todas as fontes de variação previstas (PAGOTTO *et al.*, 2021).

O teste F da amostra testa se a hipótese nula de igualdade entre as médias dos tratamentos, onde  $p > 0,05$ . Se o teste for significativo ( $p < 0,05$ ), rejeita-se a hipótese da homogeneidade e são aplicados os testes de comparação de médias, como o teste de Tukey (VAN DEN BERGH *et al.*, 2020; PAGOTTO *et al.*, 2021). O nível de significância aplicado foi de  $\alpha = 0,05$ . Os testes foram realizados com auxílio do *software* Minitab – versão gratuita.

Os tratamentos e os níveis analisados na determinação dos resultados de densidade de massa aparente, de resistência à compressão, de resistência à tração na flexão, de absorção de água e índice de vazios, de absorção de água por capilaridade e de aderência das argamassas consistiram na incorporação do resíduo têxtil em 0%, 10%, 20% e 25% (Tabela 7).

Tabela 7: Tratamentos experimentais delineados.

Tratamentos	Teor de resíduos (%)
1	0
2	10
3	20
4	25

Fonte: Autora (2023).

#### 4.10. CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A NBR 13281 (ABNT, 2005a) estabelece requisitos a serem cumpridos por argamassas destinadas ao assentamento de paredes ou ao revestimento de paredes e tetos, indicando parâmetros classificatórios de acordo com as propriedades e as características do material, determinadas por métodos de ensaios.

Os ensaios listados nesta norma foram a referência para a estruturação do programa experimental da pesquisa. A primeira propriedade descrita foi a resistência à compressão (Tabela 8).

Tabela 8: Classificação quanto a resistência à compressão.

<b>Classe</b>	<b>Resistência à compressão [MPa]</b>	<b>Norma indicada para ensaio</b>
P1	$\leq 2,0$	NBR 13279 (ABNT, 2005b)
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	$> 8,0$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

A segunda propriedade elencada para as argamassas é a densidade de massa aparente no estado endurecido (Tabela 9).

Tabela 9: Classificação quanto a densidade de massa aparente.

<b>Classe</b>	<b>Densidade de massa aparente [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Norma para ensaio</b>
M1	$\leq 1200$	NBR 13280 (ABNT, 2005e)
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	$> 1800$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

Em seguida, são descritos os requisitos para a classificação das misturas quanto a resistência à tração na flexão (Tabela 10).

Tabela 10: Classificação quanto a resistência à tração na flexão.

<b>Classe</b>	<b>Resistência à tração na flexão [MPa]</b>	<b>Norma para ensaio</b>
R1	$\leq 1,5$	NBR 13279 (ABNT, 2005b)
R2	1,0 a 2,0	

R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	> 3,5

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

O coeficiente de capilaridade é a quarta propriedade listada para classificação (Tabela 11).

Tabela 11: Classificação quanto ao coeficiente de capilaridade.

Classe	Coef. de capilaridade [g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	Norma para ensaio
C1	≤ 1,5	NBR 15259 (ABNT, 2005d)
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	> 10,0	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

Os requisitos para a classificação das argamassas quanto a densidade de massa no estado fresco aparecem em seguida (Tabela 12).

Tabela 12: Classificação quanto a densidade de massa no estado fresco.

Classe	Densidade de massa [kg/m <sup>3</sup> ]	Norma para ensaio
D1	≤ 1400	NBR 13278 (ABNT, 2005f)
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	
D6	> 2000	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

A última propriedade considerada para o desenvolvimento deste estudo foi a resistência de aderência à tração (Tabela 13).

Tabela 13: Classificação quanto a resistência de aderência à tração.

Classe	Aderência [MPa]	Norma para ensaio
A1	< 0,20	NBR 15258 (ABNT, 2021c)
A2	≥ 0,20	
A3	≥ 0,30	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

Apesar da norma possibilitar a classificação das propriedades de argamassas a partir dos requisitos descritos, esta classificação é mais utilizada na literatura do que no mercado de materiais da construção civil (SILVA *et al.*, 2009).

#### 4.11. ESTUDO DE VIABILIDADE

A análise da viabilidade econômica foi elaborada através de pesquisas de custos de mercado dos processos e da matéria prima aplicados à incorporação do lodo em argamassas.

Foram elaboradas planilhas orçamentárias, contabilizando os insumos utilizados para a produção das argamassas para uso em revestimentos externos e com os custos de transporte do lodo têxtil. A referência para o levantamento foram bases de órgãos federais, como os documentos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), da Caixa Econômica Federal.

Também foi estimada a redução na emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) através de dados publicados na literatura.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. LEVANTAMENTO DE DADOS SECUNDÁRIOS

Aplicando a metodologia PRISMA para a obtenção de dados secundários, a etapa de Identificação foi iniciada pela aplicação de indicadores nas bases de dados *Web of Science*, *ScienceDirect* e *Scopus*. Os termos foram utilizados juntamente com filtros, de forma a obter amostragens mais condizentes com o objetivo de observar o estado da arte na produção de materiais com resíduos têxteis nos últimos anos (Tabela 14). Para isso, a pesquisa foi restrita a artigos de pesquisa ou de revisão, publicados do período temporal de 2019 a 2023, nos idiomas inglês e português e em artigos cujos os termos pesquisados aparecessem no título, resumo ou palavras-chave.

Tabela 14: Contabilização dos artigos através dos termos pesquisados.

Indicadores	Web of Science	ScienceDirect	Scopus
("textile sludge" OR "textile waste") AND ("composite" OR "construction application")	0	84	30
"textile sludge" AND ("composite" OR "application")	4	4	1

Fonte: Autora (2023).

O indicador utilizado foi ("*textile sludge*" OR "*textile waste*") AND ("*composite*" OR "*construction application*"), por apresentar uma amostragem mais branda, somando 114 artigos nas 3 bases de dados juntas. Ainda na mesma etapa, foram baixados 76 arquivos de acesso liberado e foram adicionados 7 artigos obtidos na plataforma de periódicos Capes, obtidos em pesquisas anteriores, o que resultou em 83 artigos.

Durante a etapa de Seleção, foi realizada a retirada de duplicatas, uma vez que mais de uma base de dados foi utilizada e alguns artigos podem ter sido disponibilizados em mais de uma delas. Após o upload no software Mendeley, restaram 67 artigos e 16 foram retirados.

Na fase da Elegibilidade, foram avaliados os títulos, resumos e palavras-chave das obras, observando as que encaixavam no escopo da pesquisa. Foram retirados 17 artigos, e os 50 restantes foram considerados elegíveis, os quais foram integralmente lidos na fase de Inclusão, resultando na análise de 32 artigos que produziram materiais compósitos incorporando resíduos da indústria têxtil.

#### 5.1.1. Materiais cimentícios

Os estudos que relacionam materiais cimentícios a resíduos têxteis aplicados à construção civil foram listados, identificando autores, título, ano de publicação, material desenvolvido ou estudado, o objeto da pesquisa e a síntese do resultado obtido (Quadro 2).

Quadro 2: Resumo dos estudos sobre materiais cimentícios com resíduos têxteis.

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Material</b>	<b>Foco do estudo</b>	<b>Síntese do resultado</b>
Alwared, Jaeel, Ismail	New application of eco-friendly biosorbent giant reed for removal of reactive dyes from water followed by sustainable path for recycling the dyes-loaded sludge in concrete mixes	2020	Concreto com substituição do agregado miúdo por plantas carregadas de corantes	Remoção de corantes pela cana-do-reino e incorporação do material como substituição parcial ao agregado miúdo	Teste de lixiviação apresentaram resultados favoráveis, assim como os de propriedades mecânicas
Cheng; Li; Chen; Gao	Solidification/Stabilization of Textile Sludge as Subgrade: Usage of Binders and Skeleton Material	2020	Pasta de cimento e cal com incorporação de lodo têxtil	Método de solidificação/estabilização para investigar a aplicação de lodo como material de subleito	Solidificação/estabilização reduziu a lixiviação abaixo do mínimo normativo. A adição de materiais sólidos (esqueleto) à mistura de cimento e lodo funcionou melhor para subleito, aumentando a resistência à compressão e ao cisalhamento.
Goyal; Siddique; Jha; Sharma	Utilization of textile sludge in cement mortar and paste	2019	Pastas e argamassas de cimento com lodo têxtil	Uso do lodo têxtil em substituição parcial ao cimento	Substituição em até 5% não apresentou efeitos adversos, o aumento do teor, houve aumento da porosidade e redução da resistência.
Jian; Li; Xing; Sun	Recycling hazardous textile effluent sludge in cement-based construction materials: Physicochemical interactions between sludge and cement	2020	Argamassas com percentuais progressivos de lodo em substituição ao cimento	Análise físicoquímica e mecânica das interações do lodo com o cimento portland	O uso do lodo retardou a hidratação do cimento. Presença de metais pesados e amônia. Propriedades mecânicas reduziram com o aumento do percentual de lodo.
Kasaw; Adane; Gebino; Assefa; Kechi; Alemu	Incineration of Textile Sludge for Partial Replacement of Cement in Concrete Production: A Case of Ethiopian Textile Industries	2021	Concreto com cinza de lodo têxtil em substituição parcial ao cimento	Analisar as propriedades do concreto com o aumento gradual do percentual de substituição	A resistência à compressão diminuiu e a absorção de água aumenta. O teste de lixiviação revelou baixa liberação de metais pesados.
Sadrolodabae; Claramunt; Ardanuy; De La Fuente	A TextileWaste Fiber-Reinforced Cement Composite: Comparison between Short Random Fiber and Textile Reinforcement	2021	Pastas de cimento com fibras e tecido	Uso de frações de fibras curtas em 6–10% em peso ou tecidos em 3–7 camadas laminadas no reforço de pastas de cimento	As fibras apresentaram limitações no desempenho mecânico. O painel com 6 camadas de tecido teve melhores resultados. O uso deste resíduo é tecnicamente viável e pode ser aplicado no em construções não estruturais.

Quadro 3: Resumo dos estudos sobre materiais cimentícios com resíduos têxteis (cont.)

Sadrolodabae; Claramunt; Ardanuy; De La Fuente	Characterization of a textile waste nonwoven fabric reinforced cement composite for non-structural building components	2021	Painéis em pasta de cimento e camadas de reforço com tecido de resíduos têxteis	Verificar as propriedades mecânicas e de durabilidade dos resíduos têxteis como reforço para compósitos	Todos os compósitos mostraram uma melhoria notável em termos de tenacidade e capacidade de suporte de tensão pós-fissuração, sendo 6 camadas o número ideal de reforços.
Sadrolodabae; Claramunt; Ardanuy; De La Fuente	Mechanical and durability characterization of a new textile waste micro-fiber reinforced cement composite for building applications	2021	Pastas de cimento com fibras de resíduo têxtil proveniente de vestimentas	Avaliação das propriedades mecânicas e durabilidade de pastas com fibras de resíduos têxteis de 6 a 10% na massa de cimento	Dosagem ótima do reforço em 8%. A resistência à compressão e a rigidez e a durabilidade do compósito foram superiores à referência.
Sadrolodabae; Claramunt; Ardanuy; De La Fuente	Effect of accelerated aging and silica fume addition on the mechanical and microstructural properties of hybrid textile waste-flax fabric-reinforced cement composites	2023	Pastas à base de cimento com sílica ativa, reforçado com tecido de resíduos têxteis	Substituição do cimento por sílica ativa, para a análise da resistência mecânica e a durabilidade de placas com 6 camadas de tecido produzido com resíduo têxtil	Em 30% de sílica ativa, resistências à flexão e tração aumentaram. O teste de envelhecimento acelerado aumentou a fraturação das fibras e reduziu a resistência à tração. Material é adequado para fachadas ventiladas.
Tran; Gunasekara; Law; Houshyar; Setunge	Repurposing of blended fabric waste for sustainable cement-based composite: Mechanical and microstructural performance	2023	Argamassa incorporando fibras diversas de tecido de resíduo têxtil	Avaliação das propriedades de resistência, encolhimento e microestrutura das argamassas.	Na adição de 0,3% de fibras, resistência mecânica aumentou. Houve refinamento dos poros e densificação da microestrutura próxima à interface fibra-matriz devido ao crescimento de produtos de hidratação com maior tempo de cura.
Ventura; Álvarez; Gonzalez-Lopes; Claramunt; Ardanuy	Cement composite plates reinforced with nonwoven fabrics from technical textile waste fibres: Mechanical and environmental assessment	2022	Placas de cimento	Caracterização de painéis compósitos de base cimentícia reforçados com fibras de resíduos de vestuário técnico de proteção	Resistência à flexão e tenacidade indicam uso para fachadas ventiladas. Compósito teve desempenho ambiental superior a telhas cerâmicas e de fibrocimento.
Yousef; Kalpokaitė-Dičkuvienė; Baltušnikas; Pitak; Lukošiušė	A new strategy for functionalization of char derived from pyrolysis of textile waste and its application as hybrid fillers (CNTs/char and graphene/char) in cement industry	2021	Pastas de cimento	Utilização de carvão proveniente da pirólise do resíduo têxtil como filler cimentício	O carvão produzido apresentou resultados semelhantes aos fillers comerciais usados no cimento, ao mesmo tempo que tem baixo custo e é mais sustentável.

Fonte: Autora (2023).

### 5.1.2. Materiais não-cimentícios

De forma semelhante ao desenvolvido no tópico 5.1.1., as pesquisas envolvendo materiais não-cimentícios e resíduos têxteis foram levantados quanto aos autores, título, ano de publicação, material avaliado ou produzido, foco da pesquisa e a síntese do resultado apresentado nos estudos (Quadro 3).

Quadro 4: Resumo dos estudos sobre materiais não-cimentícios com resíduos têxteis.

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Material</b>	<b>Foco da pesquisa</b>	<b>Síntese do resultado</b>
Ailenei; Ionesi; Dulgheriu; Loghin; Isopescu; Maxineasa; Baciu	New Waste-Based Composite Material for Construction Applications	2021	Painéis com resíduos têxteis combinados com outros materiais	Painel compósito à base de resíduos que podem substituir placas de fibra à base de madeira	O compósito é uma solução eficiente. Propriedades mecânicas do novo material são superiores às das tradicionais placas de fios orientados de 8 mm.
Baccouch; Ghith; Yalcin-Enis; Sezgin; Miled; Legrand; Faten	Investigation of the mechanical, thermal, and acoustical behaviors of cotton, polyester, and cotton/polyester nonwoven wastes reinforced epoxy composites	2022	Resina epóxi com algodão e poliéster	Avaliação de compósito (painel) para fins automotivos e de construção a partir das propriedades mecânicas, acústicas e térmicas	Melhorias nas propriedades mecânicas, não apresentaram mudanças notáveis no comportamento térmico. Compósito promissor na redução da emissão de ruídos e pela contribuição na diminuição de resíduos têxteis em aterros, além do menor custo.
Burgada; Fages; Quiles-Carrillo; Lascano; Ivorra-Martinez; Arrieta; Fenollar	Upgrading Recycled Polypropylene from Textile Wastes in Wood Plastic Composites with Short Hemp Fiber	2021	Compósitos de madeira e plástico à base de matriz de polipropileno reciclado de resíduos têxteis, reforçado com fibras de cânhamo	Análise das propriedades mecânicas, térmicas, termomecânica e microscópica do compósito com polipropileno reciclado	Necessário incluir compatibilizantes para melhoria da interação do polipropileno com as fibras, aumentando a rigidez e a ductilidade do compósito. Os resíduos têxteis podem substituir materiais em aplicações industriais automotivas, de construção e de móveis.
Echeverria; Handoko; Pahlevani; Sahajwalla	Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications	2019	Painéis de madeira com resíduo têxtil de polipropileno como matriz plástica, com acrílico, poliéster, algodão e lã	Recuperação de têxteis em fim de vida como matéria-prima alternativa de baixo carbono, para aplicações em construção	Desempenho ideal para resistência à umidade, para aplicações de suporte de carga e sem carga, em comparação com painéis padrão. Melhor desempenho em resistência mecânica e absorção de umidade foram alcançados para a matriz com 40% de têxtil.
El Messiry; Ayman	Investigation of sound transmission loss of natural fiber/rubber crumbs composite panels	2022	Painéis com fibras têxteis (resíduo) e pó de borracha	Análise das propriedades acústicas de painéis isolantes compostos de fibras têxteis e borracha de pneu	Os painéis apresentaram perda de transmissão de som significativa, especialmente de altas frequências.

Quadro 5: Resumo dos estudos sobre materiais não-cimentícios com resíduos têxteis (cont.)

Gedif; Atalie	Recycling of 100% Cotton Fabric Waste to Produce Unsaturated Polyester-Based Composite for False Ceiling Board Application	2022	Compósito de poliéster com resíduo de algodão	Avaliação das propriedades mecânicas do compósito, a ser utilizado como placa para teto	Resistência de tensão na flexão aumentou com o aumento do uso de resíduo (de 10% para 33%), assim como a resistência à compressão.
Hegy; Vermesan; Lazarescu; Petcu; Bulacu	Thermal Insulation Mattresses Based on TextileWaste and Recycled PlasticWaste Fibres, Integrating Natural Fibres of Vegetable or Animal Origin	2022	Isolantes térmicos com misturas de fibras (resíduo de lã, celulose, poliéster e PET)	Avaliação do isolamento térmico e da qualidade do ar no ambiente fechado	Baixo desempenho mecânico, apesar de bom isolamento térmico, em comparação com os isolantes comerciais. Absorção de água diminuiu, houve melhoria da qualidade do ar em ambientes fechados, devido a retenção da umidade pelo material.
Hussain; Goljandin; Podgursky; Abbas; Krasnou	Experimental mechanics analysis of recycled polypropylene-cotton composites for commercial applications	2022	Compósitos de polipropileno com resíduo de fibra de algodão	Desenvolvimento de compósitos com resíduo de algodão para usos industriais (automotivos, construção, aeroespacial)	Compósito com 10 a 30% de resíduo pode ser utilizado em aplicações automotivas, construções, eletrônicas. Redução da resistência à tração na flexão e à compressão com maior percentual de resíduo.
Islam; El Messiry; Sikdar; Seylar; Bhat	Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from postconsumer recycled denim fabrics	2022	Placas de isolamento acústico com resíduo de denim	Avaliar as propriedades de compósitos com resíduos de denim e ácido polilático para o isolamento acústico, analisando a viabilidade comercial	Quando comparado com material de isolamento acústico comercial, os compósitos tiveram melhores propriedades de isolamento, indicando que produtos têxteis reciclados podem ser usados para produzir tais materiais de valor agregado.
Kamble; Behera	Fabrication and performance evaluation of waste cotton and polyester fiber-reinforced green composites for building and construction applications	2021	Resina epóxi com resíduo de algodão e poliéster	Analisar as propriedades mecânicas, térmicas e de absorção de água do compósito	Propriedades mecânicas de algodão/epóxi e poliéster/epóxi melhoram com volume de fibras. Compósitos com poliéster com resistência à tração superior, o algodão melhorou a resistência à flexão. Compósitos são termicamente estáveis.
Kamble; Behera	Sustainable hybrid composites reinforced with textile waste for construction and building applications	2021	Resina epóxi com resíduo de algodão, fibra de vidro e juta	Avaliar as propriedades do compósito com fibra de vidro e juta em comparação ao com fibra de algodão	As propriedades do compósito com fibra de vidro e juta apresentaram resultados melhores que com algodão. O material pode substituir a madeira em mobiliários e em materiais de construção.

Quadro 6: Resumo dos estudos sobre materiais não-cimentícios com resíduos têxteis (cont.)

Khalaf; El Hage; Mihajlova; Bergeret; Lacroix; El Hage	Influence of agricultural fibers size on mechanical and insulating properties of innovative chitosan-based insulators	2021	Material isolante com fibras de algodão, casca de arroz e fibra de miscanthus em uma matriz de quitosana	Avaliar propriedades térmicas, condutividade e propriedades mecânicas dos compósitos	A mistura de fibras de miscanthus e de resíduo têxtil apresentou propriedades térmicas e mecânicas muito boas, aumentando a rigidez e a tensão de flexão.
Khan; Iftikhar; Mohsin; Ahmad; Sahar; Rovere; Tagliaferro	Low temperature synthesis of carbon fibres from post-consumer textile waste and their application to composites: An ecofriendly approach	2022	Compósito de epóxi com fibras de carbono sintetizadas usando resíduo de algodão	Aplicação do resíduo em 1 a 5% em resina epóxi, avaliação das propriedades mecânicas e morfológicas, quanto a interação da matriz epóxi com a fibra	Boa propriedade estrutural da fibra sintetizada a 600°C, a resistência mais alta foi a de fibras de carbono sintetizadas a 600 °C, um incremento de 93% na resistência à tração final foi registrado em 4% do peso do filler quando comparado ao epóxi puro.
Linhares; Carneiro; Merillas; Amorim; Durães	Textile waste-reinforced cotton-silica aerogel composites for moisture regulation and thermal/acoustic barrier	2022	Compósitos de aerogel de sílica reforçados com resíduos de fibras de algodão	O teor de fibras de 8 a 15% em massa, buscando a quantidade ideal em termos de capacidade de isolamento térmico	Algodão melhorou a flexibilidade do compósito, juntamente com o bom isolamento térmico e acústico, podendo ser utilizado em edifícios, através de camadas isolantes interiores.
Muthuraj; Lacoste; Lacroix; Bergeret	Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation	2019	Material isolante em resina (material colante) com fibras de resíduo têxtil, casca de arroz, casca de trigo e fibra de madeira	Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de absorção de água	Compósitos apresentaram comportamento semirrígido com propriedades de flexão e compressão suficientes. O compósito de fibra têxtil só não ficou atrás do de fibra de madeira na absorção de água. Todos os compósitos mostraram estabilidade térmica até 250 °C, sendo adequados para aplicações em interiores de edifícios.
Sakthivel; Kumar; Melese; Mekonnen; Solomon; Edae; Abedom; Gedilu	Development of nonwoven composites from recycled cotton/polyester apparel waste materials for sound absorbing and insulating properties	2021	Espuma rígida de poliuretano misturada com tecidos de algodão/poliéster	Aproveitamento de resíduos têxteis de algodão/poliéster em compósitos com espuma de poliuretano rígida como aglutinante.	Material com excelente desempenho na absorção de ondas sonoras de alta frequência. As propriedades acústicas são úteis para produtos como barreiras acústicas, paredes, superfícies de estradas.

Quadro 7: Resumo dos estudos sobre materiais não-cimentícios com resíduos têxteis (cont.)

Ullah; Hasan; Ahmad; Ahmed	Performance of industrial sludge-amended bricks manufactured in conventional kilns	2020	Tijolos em argila produzidos com lodo com corantes em fornos convencionais	Análise da resistência, absorção de água, contração de queima, perda de massa na ignição, densidade aparente e o potencial de lixiviação de metais pesados tóxicos	Resistência diminuiu com o aumento do teor de lodo, assim como o encolhimento e a absorção de água. Em 10%, os tijolos apresentaram perdas mínimas durante a secagem e queima na fabricação. A lixiviação de metais foi considerada insignificante, sem nenhuma preocupação para o meio ambiente.
Wondmagegnehu; Paramasivam; Selvaraj	Fabricated and analyzed the mechanical properties of textile waste/glass fiber hybrid composite material	2021	Resina com resíduos têxteis e fibra de vidro	Análise das propriedades mecânicas de materiais compósitos híbridos	O efeito da fibra de resíduo têxtil é a melhoria das propriedades mecânicas da resina composta pura. Podem ser utilizados na indústria automotiva e da construção.
Wondmagegnehu; Paramasivam; Selvaraj	Micro-hardness and optical microscopy analysis of textile waste/glass fiber hybrid composite material	2021	Resina de poliéster com resíduos têxteis e fibra de vidro	Estudo de microdureza e análise de microscopia óptica de material híbrido à base de resina de poliéster reforçado com fibra de vidro e resíduos têxteis, preparado pelo método de lay-up à mão.	O compósito com 30% fibra de vidro/20% resíduo têxtil apresentou maior dureza, enquanto o de 30% resíduo/20% fibra exibiu mais vazios. O resíduo têxtil teve maior ligação com a matriz que a fibra de vidro. Podem ser utilizados na indústria automotiva e na indústria da construção.
Yalcin-Enis	Evaluation of recycled textile wastes with E-glass fabric in bio-based epoxy matrix composites: investigation of the mechanical properties	2022	Compósito de matriz epóxi com resíduos têxteis e fibra de vidro	Investigar as propriedades mecânicas de compósitos de matriz epóxi	Compósitos com poliamida apresentaram melhores resultados de resistência à tração em comparação com os de fibra de vidro. Compósitos com algodão não tiveram boa ligação com a matriz epóxi, resultando em pior desempenho mecânico.

Fonte: Autora (2023).

### 5.1.3. Meta-análise

A análise quali-quantitativa do material obtido foi realizado a partir da extração das informações dos artigos em formato *.bibtex* diretamente da plataforma do Mendeley, após a etapa de Inclusão. O arquivo contendo as informações foi aplicado ao *software* R, versão 4.2.2. O R é um *software* livre, utilizado para a computação estatística e gráfica, com objetivo de



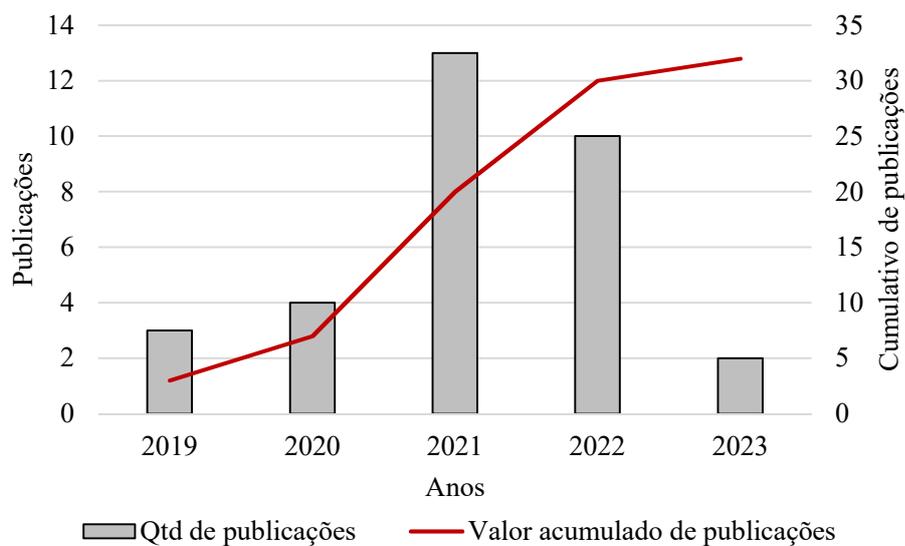


devem ser preparados para reutilização ou reciclagem. Em 2030, espera-se alcançar 60 % dos resíduos e 65% em 2035 (AITEEX, 2021). Essa mudança na legislação espanhola pode ter impulsionado a pesquisa sobre a utilização de resíduos têxteis em materiais de construção, como alternativa a incineração ou ao descarte em aterros sanitários.

Na Etiópia, a indústria do vestuário está em crescimento, destacando-se entre os países subsaarianos da África em interesse de compradores internacionais (BIZUNEH; TADESSE, 2020). Em 2020, o governo da Etiópia e instituições privadas investiram em projetos para promoção da economia circular no setor têxtil através da reutilização e reinserção de resíduos têxteis em produtos e serviços economicamente viáveis e socialmente benéficos (GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY, 2020).

Em paralelo, os dados também foram tratados na plataforma online Planilhas Google, gerando gráficos com o quantitativo de publicações ao longo dos anos (Figura 32) e com as fontes mais relevantes quanto ao assunto (Figura 33).

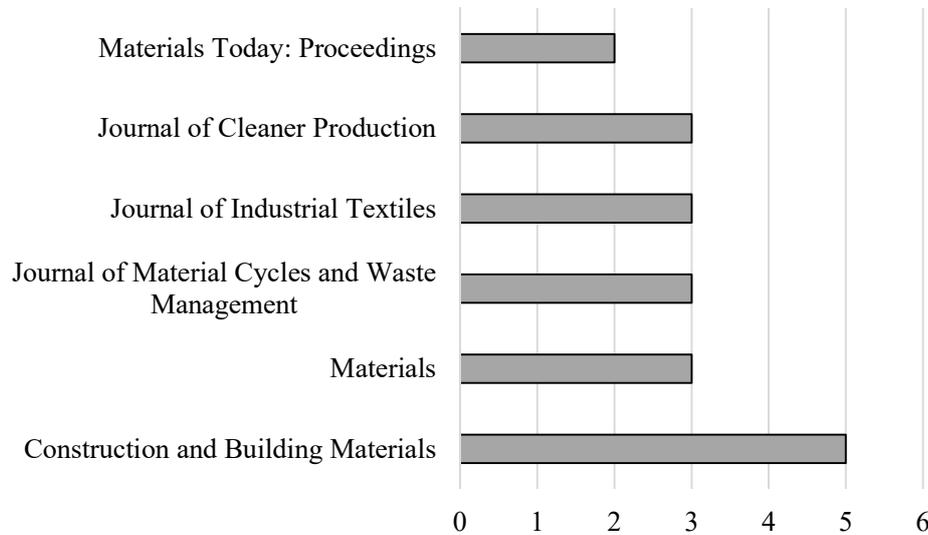
Figura 32: Produção científica ao longo dos anos.



Fonte: Autora (2023).

Do ano de 2020 ao de 2021, ocorreu um aumento de 225 % nas publicações de artigos, seguido por uma queda de 23 % em 2022. Até o primeiro bimestre de 2023, foram contabilizados 2 artigos que relacionaram os resíduos têxteis a materiais de construção.

Figura 33: Fontes mais relevantes.



Fonte: Autora (2023).

O periódico “*Construction and Building Materials*” apresentou o maior quantitativo de artigos sobre o tema, totalizando 5 publicações, seguido pelos periódicos “*Materials*”, “*Journal of Material Cycles and Waste Management*”, “*Journal of Industrial Textiles*” e “*Journal of Cleaner Production*”, com 3 publicações.

A Plataforma Sucupira divulgou em 2023 a avaliação Qualis referente ao quadriênio 2017-2020, com a classificação dos periódicos de acordo com as áreas de conhecimento (Quadro 4).

Quadro 8: Classificação Qualis dos periódicos.

ISSN	Nome	Engenharias I
0950-0618	Construction and Building Materials	A1
0959-6526	Journal of Cleaner Production	A1
1996-1944	Materials	A3
1438-4957	Journal of Material Cycles and Waste Management	A3
1528-0837	Journal of Industrial Textiles	-

Fonte: Plataforma Sucupira (2023).

Os periódicos “*Construction and Building Materials*” e “*Journal of Cleaner Production*”, onde foram publicados 5 e 3 dos artigos estudados, respectivamente, alcançaram a classificação A1, a mais alta na escala do Qualis. O “*Materials*” e o “*Journal of Material Cycles and Waste Management*” foram classificados como A3, e o “*Journal of Industrial Textiles*” não estava cadastrado na Plataforma Sucupira, não apresentando classificação.

## 5.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

### 5.2.1. Massa específica do cimento

A média da massa específica para o cimento, realizada em triplicata, foi de 2,86 g/cm<sup>3</sup>. Carasek *et al.* (2016), Barboza *et al.* (2020), Ribeiro *et al.* (2021) e Bezerra *et al.* (2023) encontraram resultados semelhantes para o CP-II F. Os banhos termorreguladores aplicados ao frasco de Le Chatelier durante os ensaios tiveram temperatura média de 20,3 °C.

### 5.2.2. Massa específica da cal

A massa específica média da cal foi de 2,36 g/cm<sup>3</sup>, também realizada em triplicata. A temperatura média dos banhos termorreguladores foi de 19,8 °C. Carasek *et al.* (2016) encontraram massa específica de 1,05 g/cm<sup>3</sup> para uma cal CH-I.

### 5.2.3. Areia

#### 5.2.3.1. Determinação da densidade e absorção de água

Foram tomados 500 g de agregado miúdo para a execução do ensaio para condição saturada superfície seca. Outros 500 g do mesmo material foram submetidos a secagem em estufa, resultando em 495,6 g de areia seca.

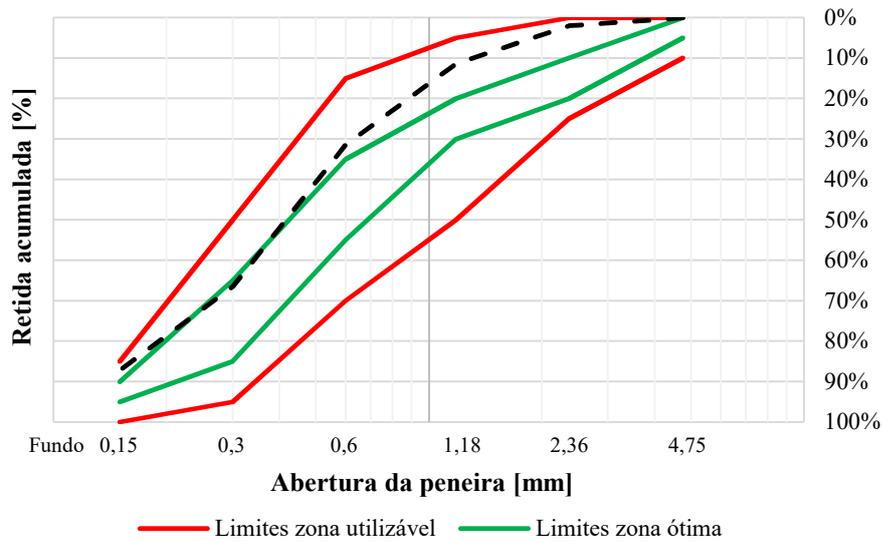
A massa do conjunto frasco-areia somou 1075,9 g, e o volume de água adicionado foi de 307,4 cm<sup>3</sup>. A densidade úmida ou massa específica do agregado na condição saturado superfície seca foi de 2,60 g/cm<sup>3</sup> e a densidade seca ou massa específica aparente do agregado seco foi de 2,57 g/cm<sup>3</sup>, resultados corroborados por Souza, Silva e Pina (2017), Velumani e Senthilkumar (2018), Santos e Polesello (2022), Sena *et al.* (2022), Jorge *et al.* (2023) e Negrini *et al.* (2023). A absorção de água pela areia foi de 0,89 %.

#### 5.2.3.2. Composição Granulométrica

A partir do ensaio de granulometria, elaborou-se a curva granulométrica do agregado miúdo (Figura 34), detalhando o percentual retido dos grãos da amostra na sequência de peneiras.

A NBR 7211 também indica que materiais com distribuição fora da zona utilizável só devem ser utilizados com estudos prévios de dosagem que atestem sua aplicabilidade. A curva da areia demonstra que o material ficou completamente contido entre as curvas de limites da zona utilizável, por vezes adentrando a zona ótima para agregado miúdo, entre as peneiras de 0,6 e 0,15 mm (ABNT, 2022).

Figura 34: Curva granulométrica do agregado miúdo.



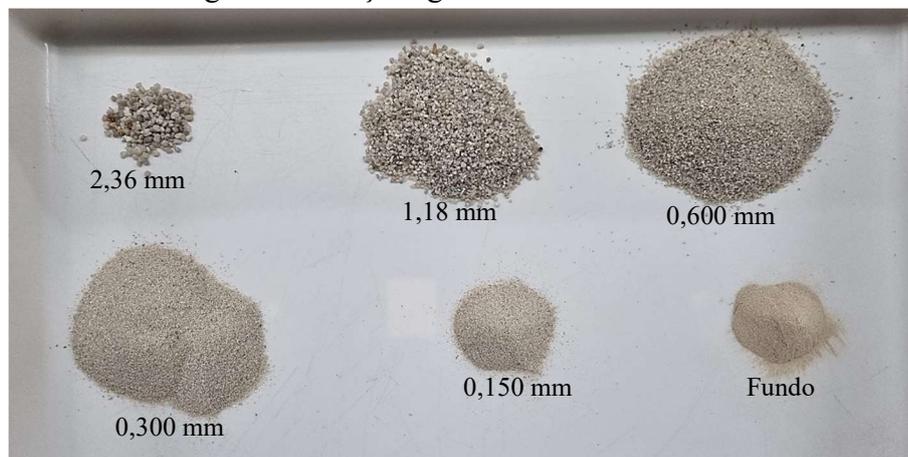
Fonte: Autora (2023).

O módulo de finura é um parâmetro da granulometria que está diretamente relacionado ao tamanho das partículas. O agregado apresentou módulo de finura de 2,98. A NBR 7211 (ABNT, 2022) determina que o módulo de finura entre 2,90 e 3,50 configura distribuição na zona utilizável superior. Este resultado aproxima-se do de Oliveira (2019) e Ribeiro *et al.* (2021).

A dimensão máxima característica (DMC) do agregado é dado pela abertura nominal da peneira na qual ficam retidos 5% do material, ou o valor imediatamente inferior a este percentual (ABNT, 2003). A DMC foi de 2,36, valor também encontrado por Ferreira *et al.* (2019) e Cunha (2021).

Ao final do peneiramento e das pesagens do material, as frações retidas em cada peneira foram dispostas de forma a permitir a visualização da granulometria da areia utilizada (Figura 35).

Figura 35: Frações granulométricas da areia.



Fonte: Autora (2023).

### 5.2.3.3. Massa Unitária

O recipiente seco apresentou massa de 0,404 kg. A densidade da água a 23,6 °C foi de 997,2 kg/m<sup>3</sup>, e o conjunto recipiente-água somou 12,021 kg. A partir destes valores, o volume do recipiente foi de 0,0118 m<sup>3</sup>. A massa unitária do agregado miúdo foi de 1573,4 kg/m<sup>3</sup>, resultado semelhante aos encontrados por Carasek et al. (2016), Couto *et al.* (2018), Ferreira *et al.* (2019), Bernardon *et al.* (2020) e Sena *et al.* (2022).

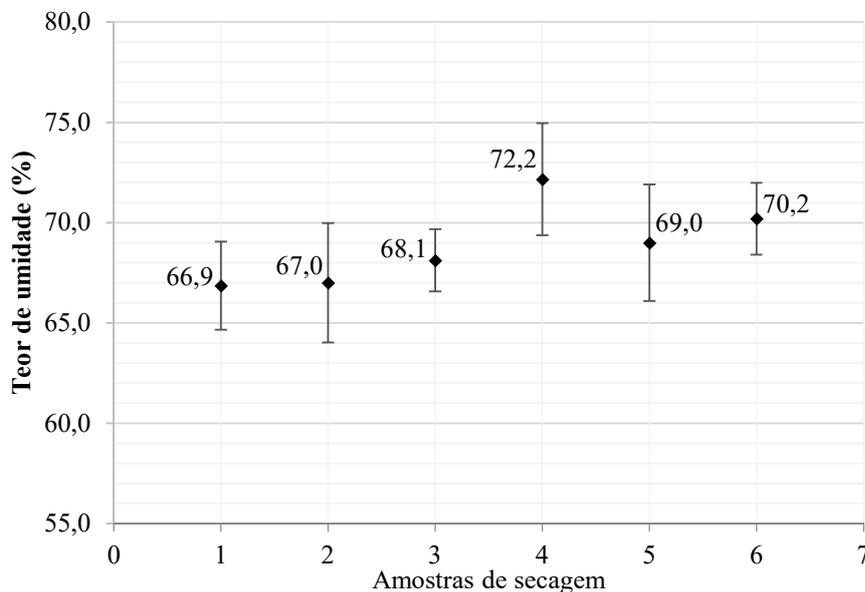
### 5.2.4. Lodo Têxtil

#### 5.2.4.1. Teor de Umidade

Foram realizadas 6 secagens do lodo após a coleta e acondicionamento em baldes fechados, resultando em um teor de umidade médio de 68,9 % (Figura 36). Rahman *et al.* (2017), Vasconcelos (2020), Draeger *et al.* (2021) e Kasaw *et al.* (2021).

Com isso, entende-se que maior parte do lodo coletado era constituído por água. Visando evitar alterações na relação água/aglomerantes das argamassas com incorporação de lodo, foi estabelecida a secagem do lodo a 100 °C período de 48 h como etapa do tratamento do material, previamente a preparação das misturas.

Figura 36: Teores de umidade médios por secagem.



Fonte: Autora (2023)

#### 5.2.4.2. Teor de Matéria Orgânica

O ensaio de teor de matéria orgânica apresentou valor médio de 3,33 % (Tabela 15). O resultado foi menor do que o encontrado na literatura. Leloup (2013) e Souto (2017) avaliaram lodos têxteis também provenientes do Polo têxtil pernambucano, caracterizando-os com 12,82 % e 35,70 % de matéria orgânica, respectivamente.

Tabela 15: Teores de matéria orgânica médios.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
Teor de M. O. (%)	3,63	3,06	3,33	3,58	3,05
Média [%]					3,33
Desvio padrão					0,28

Fonte: Autora (2023).

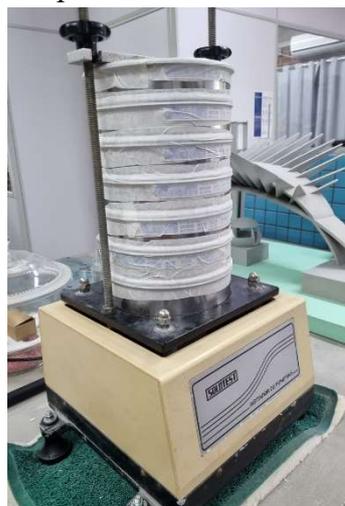
As variações nos resultados de teor de matéria orgânica do lodo têxtil podem ser explicadas pelas diferenças dos processos fabris empregados para cada procedimento, como apenas lavagem ou lavagem com tingimento, e para cada estabelecimento. Santos (2006) relata que operações como a liberação de águas de enxágue dos maquinários podem alterar a carga orgânica do tanque de equalização, ocasionando alterações na composição do lodo têxtil.

A NBR 7211 (ABNT, 2022) indica que os agregados naturais devem conter o teor máximo de 10% em matéria orgânica para o lote analisando. Considerando a incorporação do lodo no maior percentual utilizado, para o traço de argamassa de 1:1:6, o teor de impurezas orgânicas resultante do acréscimo de 25 % de resíduo foi de 1,11 % ao agregado miúdo.

#### 5.2.4.3. Composição Granulométrica

A NBR NM 248 (2003) determina que o somatório de todas as massas ao final do peneiramento não deve diferir mais que 0,3 % da massa inicial do ensaio. Por ser um material mais pulverulento que a areia, foi necessário o envelopamento do conjunto de peneiras durante o ensaio (Figura 37), impedindo o escapamento de material durante a vibração do agitador.

Figura 37: Envelopamento da série normal de peneiras.

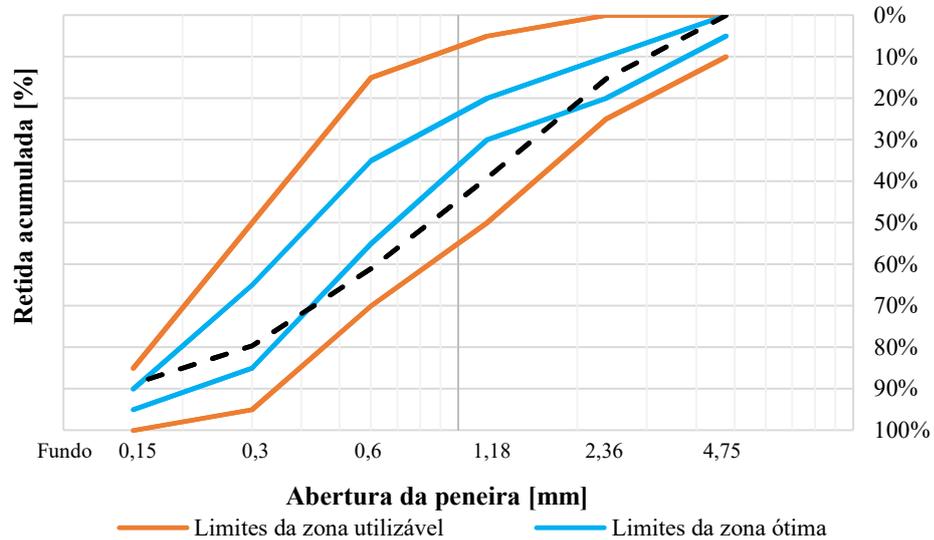


Fonte: Autora (2023).

Os percentuais de material retido na série normal de peneiras foram expressos na curva granulométrica (Figura 38). Pode-se observar que o lodo tratado apresentou um comportamento diferente da areia, ainda que tenha se mantido dentro dos limites da zona utilizável. A curva do

lodo inicia e termina na zona ótima para agregado miúdo, mas aparece na zona utilizável entre as peneiras de 2,36 e 0,3 mm (ABNT, 2022).

Figura 38: Curva granulométrica do lodo têxtil.

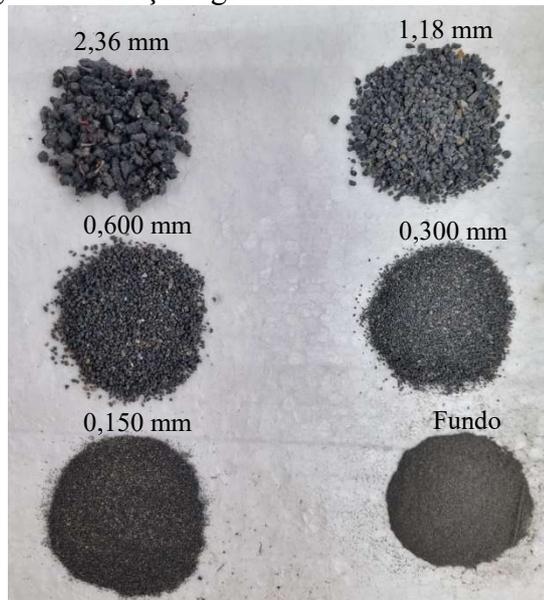


Fonte: Autora (2023).

O módulo de finura do lodo foi de 2,84, classificando-se como zona ótima pela NBR 7211 (ABNT, 2022). A dimensão máxima característica (DMC) do lodo tratado foi de 4,75 mm. Zhan e Poon (2015) secaram o lodo têxtil em estufa e destorroaram manualmente, resultando em um material granular com DMC de 4,75 mm. Leloup (2013) tratou o lodo têxtil por secagem e moagem, obtendo um módulo de finura de 0,93 e DMC de 2,36 mm.

De forma semelhante a areia, o material também foi visualmente organizado para permitir a diferenciação das frações granulométricas (Figura 39).

Figura 39: Frações granulométricas do lodo têxtil.



Fonte: Autora (2023).

#### 5.2.4.4. Fluorescência Raios-X

A análise química apontou que o lodo têxtil é prioritariamente composto por cálcio (Ca), silício (Si), magnésio (Mg) e alumínio (Al) (Tabela 16). Composições semelhantes foram observadas por Ferreira (2018), Moura (2021), Moura *et al.* (2021a), Moura *et al.* (2021b) e Fernandes (2023).

Zhan e Poon (2015) e Jian *et al.* (2020) obtiveram altos teores de compostos de ferro (Fe) e enxofre (S), juntamente com os elementos encontrados pelos outros autores em menor quantidade. No lodo têxtil analisado por Ullah *et al.* (2020), apareceram principalmente o alumínio, o silício, o enxofre e o cálcio, ao passo que Goyal *et al.* (2019) observaram o domínio do cálcio e do ferro na composição. A análise de Kasaw *et al.* (2021) apontou a presença de cálcio, silício e alumínio em maiores quantidades.

Tabela 16: Composição química do lodo têxtil.

Composto	Quantidade (%)	Composto	Quantidade (%)
CaO	34,11	K <sub>2</sub> O	0,68
SiO <sub>2</sub>	18,13	TiO <sub>2</sub>	0,23
MgO	13,59	SrO	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,13	ZnO	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,15	CuO	0,04
Cl	4,61	ZrO <sub>2</sub>	0,02
Na <sub>2</sub> O	3,86	Br	0,01
SO <sub>3</sub>	3,65	NiO	0,01
MnO	2,16		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	1,42	Total	100,00

Fonte: Autora (2023).

O cálcio e o magnésio são utilizados, através da cal comercial, para corrigir o pH do efluente após os processos de beneficiamento do jeans, constando como etapa do tratamento efetuado na ETE das lavanderias (FERNANDES, 2023).

A ocorrência do silício está relacionada a utilização de argila expandida, cuja composição contém óxido de silício (SiO<sub>2</sub>), no processo de estonagem das peças, responsável por conferir um visual desgastado ao jeans (MORAVIA *et al.*, 2006; LELOUP, 2013; FERREIRA, 2018; MOURA, 2021). Estudos com rejeitos de processos industriais contendo silício indicaram a melhoria da resistência à compressão axial em argamassas (BREJÃO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2019).

O agente flocculante utilizado no tratamento físico-químico dos efluentes contém alumínio, como o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) ou o policloreto de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$ ) (LELOUP, 2013; ZAGONEL *et al.*, 2015; MOURA, 2021; FERNANDES, 2023).

A presença do cloro pode estar relacionada ao uso de alvejantes ou sais inorgânicos, como o hipoclorito de sódio e o hipoclorito de cálcio, utilizados na fixação de corantes durante o tingimento das peças. O sódio também é usado como hidróxido de sódio, na produção de tensoativos e como componente auxiliar no processo de coagulação (FERNANDES, 2023).

Os outros elementos identificados provavelmente fazem parte da composição dos produtos utilizados no processo de tratamento do efluente ou do lodo (FERREIRA, 2018), permanecendo no resíduo após a secagem e trituração realizada em laboratório.

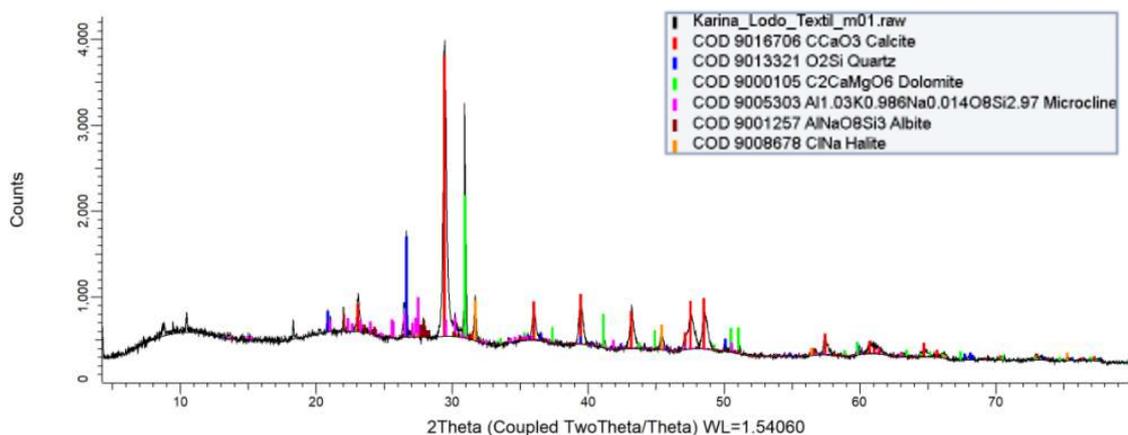
#### 5.2.4.5. Difração Raios-X

A partir da análise do ensaio de DRX, foi possível identificar a predominância de picos de Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomita ( $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$ ) e Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) na amostra do lodo têxtil (Figura 40). Os três elementos químicos mais presentes no FRX (Ca, Si e Mg) estão identificados no DRX devidamente combinados.

Outros autores observaram comportamento semelhante para o ensaio de difração raio-X (PATEL; PANDEY, 2011; FERREIRA, 2018; GOYAL *et al.*, 2019; MOURA, 2021; MOURA *et al.*, 2021b; FERNANDES, 2023), explicitando principalmente a ocorrência da calcita, composto presente em corantes como o azul de metileno (SILVA, 2019).

Observa-se no difratograma a presença de halo na curva entre  $25$  e  $33^\circ$  para  $2\theta$ , indicando que o lodo têxtil tratado é um material amorfo, sugerindo a possibilidade de existirem compostos orgânicos que se volatilizam e liberam  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  (FERREIRA, 2018).

Figura 40: Difratograma de raios-X do lodo têxtil.



Fonte: Autora (2023).

Segundo Leloup (2013), a fase quartzo identificada é provavelmente oriunda da degradação de argilas expandidas no processo de beneficiamento do jeans. Fernandes (2023) destaca os picos de Halita (NaCl), decorrentes do uso de alvejantes e materiais tensoativos durante o beneficiamento têxtil. Patel e Pandey (2011) afirmam que a presença de compostos de cálcio no DRX indica a potencialidade do uso do lodo têxtil em materiais de construção.

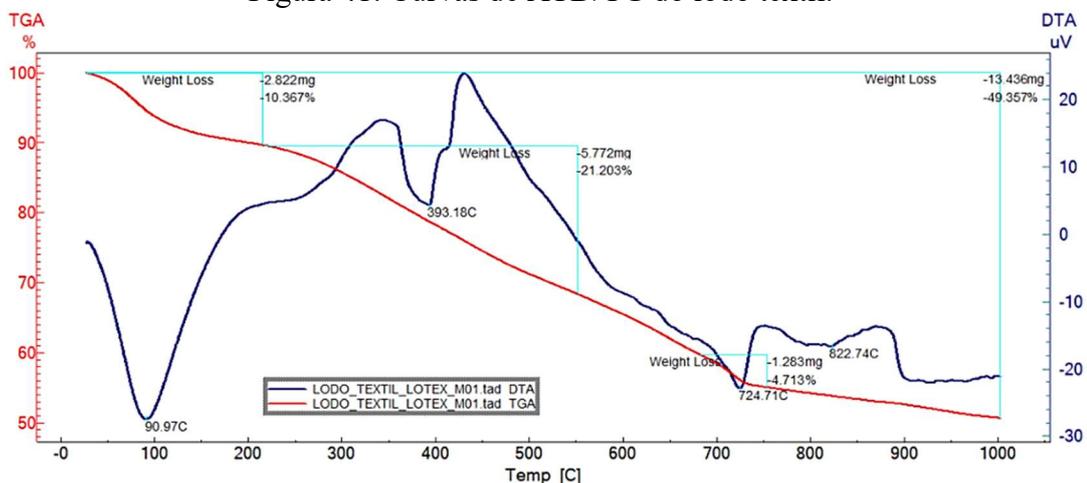
#### 5.2.4.6. Análise Térmica (ATD/TG)

A perda de massa total obtida na análise térmica (TG) foi de 49,36 %, da temperatura ambiente até 1000 °C (Figura 41). Analisando o estágio inicial, observa-se uma perda de massa de 10,37 % entre 30 °C e 215 °C referente a perda de umidade residual do material, previamente seco em estufa. No segundo estágio, de 215 até 540 °C, ocorreu outra redução de massa, de 21,20 %, ocasionada pela combustão e volatilização de matéria orgânica e ao carbono contido na amostra, oxidando para CO<sub>2</sub>, como observado no ensaio DRX pela presença do halo amorfo (LELOUP, 2013; FERREIRA, 2018).

No terceiro estágio, houve a redução em 4,71 % em massa até a temperatura aproximada de 750 °C, que pode ter sido ocasionada pela decomposição de materiais inorgânicos, que se degradam em altas temperaturas. Comportamentos térmicos similares foram observados por Yan, Sagoe-Crentsil e Shapiro (2011), Guedes (2012), Leloup (2013), Ferreira (2018) e Moura (2021) para o resíduo.

A curva de DTG auxilia a visualização do início e do fim dos eventos ocorridos nos três estágios com perda de massa identificados. No 3º estágio, os picos em 724,71 °C e 822,74 °C indicam a decomposição de compostos inorgânicos resistentes, que apresentam difícil degradação, podendo persistir no meio ambiente.

Figura 41: Curvas de ATD/TG do lodo têxtil.



Fonte: Autora (2023).

#### 5.2.4.7. Massa Específica

A leitura do volume final indica o deslocamento do querosene após a adição do lodo têxtil, a partir da qual obteve-se a massa específica de  $1,62 \text{ g/cm}^3$ . O lodo têxtil tratado por Leloup (2013) apresentou massa específica semelhante, de  $1,78 \text{ g/cm}^3$ .

O resultado indica que a massa específica do lodo seco e tratado representa 61,6 % da areia, o que pode ocasionar a redução da densidade de massa no estado fresco e a densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas, por serem propriedades diretamente proporcionais à massa do material.

#### 5.2.4.8. Massa Unitária

Em um recipiente de massa  $0,533 \text{ kg}$ , acrescentou-se água a temperatura  $23,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , de densidade  $997,4 \text{ kg/m}^3$ . O volume do recipiente foi  $0,011 \text{ m}^3$ . A massa unitária média para o lodo seco e tratado foi  $706,3 \text{ kg/m}^3$ . Percebe-se que a massa unitária do resíduo corresponde a 44,5 % da areia.

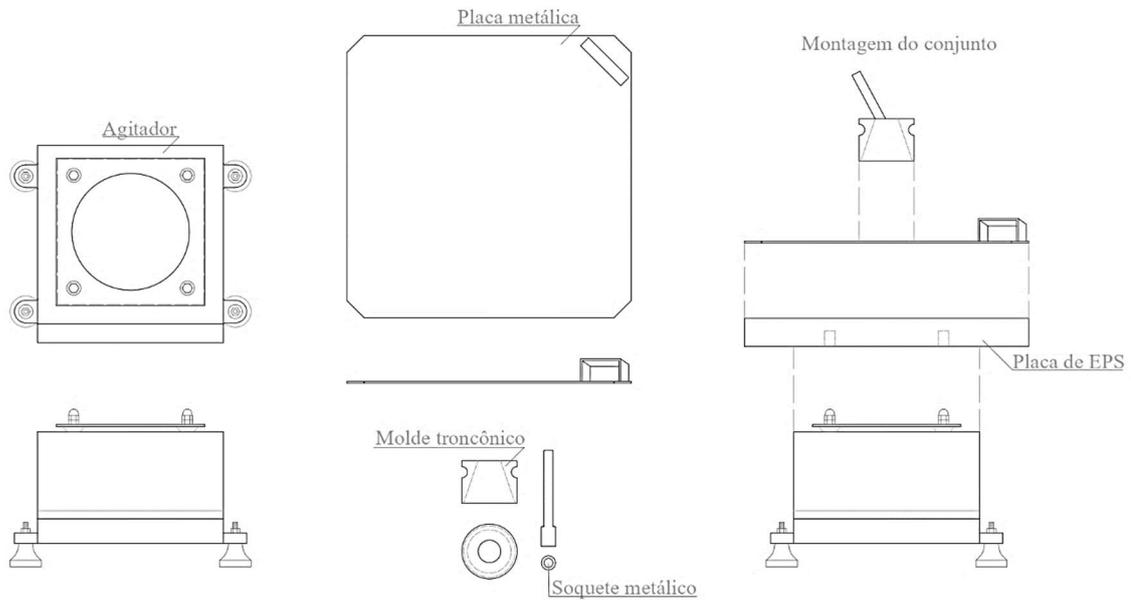
Relacionando a massa específica e a unitária, é possível que a primeira esteja mais próxima do resultado da areia por não contabilizar os espaços vazios entre os grãos. Ao considerar estes vazios, a diferença entre o lodo e a areia se acentuam, o que pode ter sido causado pelo formato e disposição dos grãos ao assentarem no recipiente.

### 5.3. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

#### 5.3.1. Índice de Consistência

Para a determinação do índice de consistência das argamassas, foi elaborado um método que consiste na utilização do agitador de peneiras como aplicador das quedas descritas na NBR 13276 (ABNT, 2016a), e as vibrações promoveram o espalhamento da argamassa. Em adição, também foi utilizada uma placa de EPS para absorver parte da vibração (Figura 42), evitando o choque direto entre o agitador e a placa metálica (LIMA et al., 2023).

Figura 42: Ilustração do ensaio de índice de consistência.



Fonte: Autora (2023).

Após a montagem do conjunto, foi realizada a calibração do equipamento para o uso durante os ensaios. Inicialmente, observou-se o nivelamento da placa metálica com um nível de bolha (Figura 43a).

Uma argamassa pronta para revestimento, definida pelo fabricante como “reboco pronto” foi adquirida em loja de construção local, em saco kraft de 20 kg. As especificações indicam uso para revestimento interno ou externo em paredes de alvenaria, apresentando densidade aparente de 1,5 g/cm<sup>3</sup> e densidade fresca de 1,8 g/cm<sup>3</sup>.

O fabricante da argamassa industrializada indica que a mistura deveria ser realizada na proporção de 3,6 kg de água para 20 kg de argamassa. Utilizando esta razão, a argamassa industrializada foi misturada seguindo as instruções da NBR 16541 (ABNT, 2016b) e o ensaio foi executado.

A calibração do equipamento consistiu na definição da frequência e do tempo que a argamassa industrializada necessitou para alcançar o espalhamento ideal, definido pela NBR 16541 (ABNT, 2016b) como  $260 \pm 5$  mm (Figura 43b). Após 9 repetições do ensaio com resultados dentro do intervalo da norma, os parâmetros foram fixados em 10 Hz de frequência e 22 segundos de duração.

Figura 43: (a) Nivelamento do equipamento; (b) execução do ensaio.



Fonte: Autora (2023).

O espalhamento médio de 255 e 265 mm deve garantir a trabalhabilidade da argamassa, propriedade importante para seu desempenho. A partir do ensaio de consistência, foram definidos os espalhamentos médios (Tabela 17).

Tabela 17: Índices de consistência de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016a).

<b>Tipo da argamassa</b>	<b>Teor de lodo (%)</b>	<b>Índice de consistência médio (mm)</b>
A-IND	-	259,0
ALT-0	0	261,4
ALT-10	10	260,8
ALT-20	20	258,2
ALT-25	25	255,8

Fonte: Autora (2023).

Durante a preparação das argamassas, observou-se que o acréscimo de lodo nas misturas reduzia o espalhamento, devido a substituição do agregado miúdo por um material mais fino, o lodo tratado, o que ocasionou uma elevação gradual do consumo de água com o aumento do teor de resíduo incorporado. Este comportamento também foi observado por Velumani e Senthilkumar (2018) e Goyal *et al.* (2019).

Com isso, não foi possível fixar a relação água/aglomerantes (a/agl) para avaliação das propriedades das argamassas (Tabela 18). O parâmetro fixado foi o índice de consistência, estabelecido pelo intervalo normativo.

Tabela 18: Relação de água/aglomerantes das argamassas.

<b>Tipo da argamassa</b>	<b>Teor (%)</b>	<b>a/agl.</b>
ALT-0	0	0,625
ALT-10	10	0,750
ALT-20	20	0,850
ALT-25	25	0,925

Legenda: a/agl. = água/aglomerantes (cimento e cal).

Fonte: Autora (2023).

Avaliando a relação a/agl. apenas da ALT-0 com argamassas de referência utilizadas na literatura, para o traço 1:1:6, o resultado obtido foi semelhante ao de Bernardon *et al.* (2020), Amancio *et al.* (2021), Gonçalves, Soares e Paula (2021) e Streb e Gauer (2022).

### 5.3.2. Densidade de massa

Os resultados do ensaio para as argamassas no estado fresco indicaram que a incorporação do lodo, em substituição à areia, diminuiu a densidade de massa (Tabela 19). A ALT-10 apresentou redução de 8,86 % na densidade, em relação a argamassa padrão. As misturas com 20 % e 25 % tiveram diminuição da densidade em 12,84 % e 13,79 %, respectivamente.

Outros autores obtiveram valores entre 1960,00 kg/m<sup>3</sup> e 2142,54 kg/m<sup>3</sup> para a densidade de massa no estado fresco de argamassas padrão de traço 1:1:6, como ALT-0 (FERREIRA *et al.*, 2019; BERNARDON *et al.*, 2020; AMANCIO *et al.*, 2021; STREB; GAUER, 2022).

Tabela 19: Densidade de massa das argamassas frescas.

<b>Tipo da argamassa</b>	<b>Densidade [kg/m<sup>3</sup>]</b>
ALT-0	2116,19
ALT-10	1928,68
ALT-20	1844,39
ALT-25	1824,42

Fonte: Autora (2023).

Apesar de utilizar teores mais baixos de substituição, Leloup (2013) observou a redução gradual das densidades de massa no estado fresco das argamassas com o acréscimo do lodo têxtil. Barboza (2011) também obteve redução na densidade de massa ao substituir a areia por lodo seco no teor de 5 % em argamassas.

Os resultados refletem as diferenças identificadas nas comparações dos ensaios de massa específica do lodo e da areia (tópicos 5.2.4.8 e 5.2.4.9), onde o lodo tratado se mostrou mais leve que o agregado miúdo. Carasek (2017) afirma que a densidade de massa varia de acordo com a massa específica dos materiais que compõem a argamassa, principalmente a do agregado.

Apesar de o lodo ter reduzido a densidade de massa, as argamassas podem ser categorizadas como normais, com possibilidade de em aplicações convencionais, com densidade entre 1,40 e 2,30 g/cm<sup>3</sup>, de acordo com a classificação descrita por Carasek (2017).

#### 5.4. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

##### 5.4.1. Densidade de massa aparente

A estatística descritiva dos resultados da densidade de massa aparente apresenta os valores médios, máximos e mínimos encontrados para cada traço, assim como o número de corpos de prova (N), desvio padrão (DesvPad) e os quartis (Q1, Q2 = mediana e Q3) (Tabela 20).

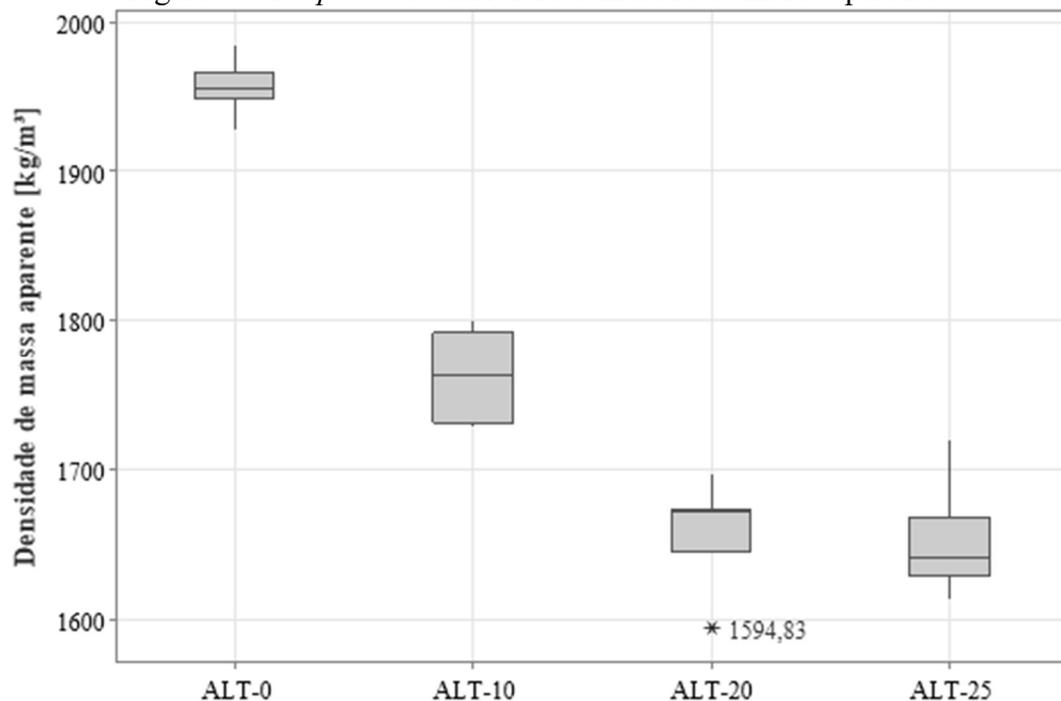
Tabela 20: Estatística descritiva dos resultados de densidade de massa aparente.

Variáv.	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
ALT-0	9	1956,5	15,9	1927,0	1949,1	1954,8	1965,3	1984,6
ALT-10	9	1764,0	28,5	1728,0	1731,4	1763,6	1792,2	1799,5
ALT-20	9	1659,1	29,0	1594,8	1645,8	1672,0	1674,2	1697,0
ALT-25	9	1650,6	32,4	1613,3	1629,2	1641,7	1668,9	1720,0

Fonte: Autora (2023).

No gráfico *boxplot*, observou-se a presença de um valor discrepante (*outlier*) no traço de ALT-20 (Figura 44). Constata-se que as amostras da argamassa ALT-0 apresentaram menor dispersão nos resultados, representada pelo tamanho da caixa. O tipo ALT-10 apresentou distribuição simétrica, pois a linha da mediana ficou ao centro da caixa, enquanto a argamassa ALT-20 teve distribuição assimétrica positiva e as demais, assimétrica negativa.

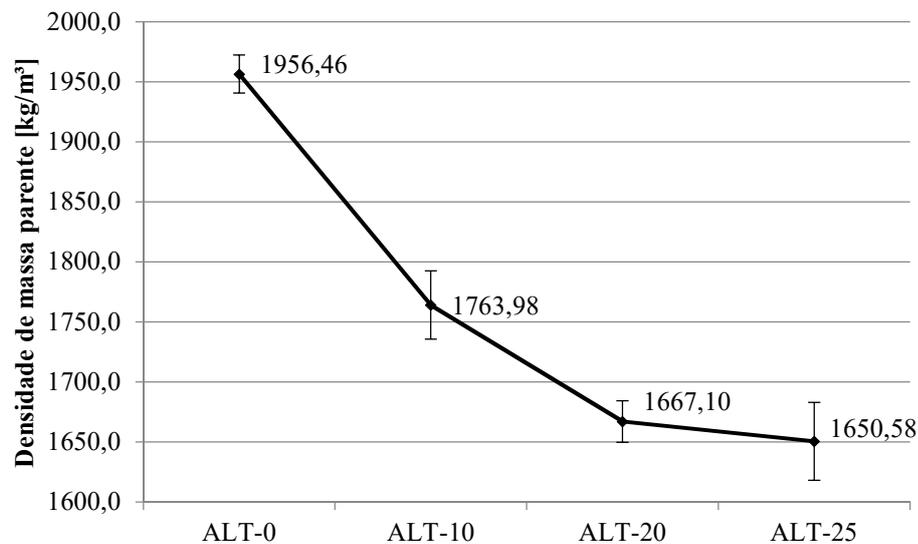
Figura 44: *Boxplot* dos valores de densidade de massa aparente.



Fonte: Autora (2023).

Com a retirada do *outlier* identificado, foram obtidas as médias de densidade de massa aparente para as amostras (Figura 45). Os resultados demonstram que houve uma redução de densidade quando adicionado o lodo. A argamassa com 10% de lodo apresentou redução de densidade em 9,84 %, comparada a de referência. O valor continuou a descer com o acréscimo de lodo, com diminuição em 14,77 % e em 15,63 % para as ALT-20 e ALT-25, em relação a ALT-0. Barboza (2011) e Leloup (2013) verificaram comportamento semelhante em argamassas com incorporação do lodo têxtil.

Figura 45: Densidade de massa aparente média das argamassas.



Fonte: Autora (2023).

Para a argamassa de referência, a densidade de massa aparente assemelha-se a de Leloup (2013), Amancio *et al.* (2021), Silva e Cordeiro (2022) e Duarte *et al.* (2022), em comparação às argamassas de referência destes respectivos estudos. A diminuição da densidade de massa no estado endurecido espelha o desempenho constatado no estado fresco. Carasek (2017) destaca que a densidade de massa aparente no estado endurecido é levemente menor que a densidade de massa no estado fresco devido à perda de água durante a cura da argamassa.

A análise de variância indicou um valor-p menor que 0,05, o que indica que ao menos uma das médias é significativamente diferente das demais (Tabela 21). Para avaliar quais as diferenças identificadas pela ANOVA, foi utilizado o teste de médias de Tukey.

Tabela 21: Análise de variância da densidade de massa aparente.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	524169,94	174723,31	284,87	1,22E-22
Erro	31	19013,99	613,35		
Total	34	543183,94			

Fonte: Autora (2023).

O teste de Tukey verificou que não existem diferenças significativas entre ALT-20 e ALT-25, enquanto apresentam diferença significativa em relação as outras argamassas (Tabela 22). Com isso, pode-se dizer que as argamassas com lodo têxtil apresentaram redução significativa de densidade de massa aparente.

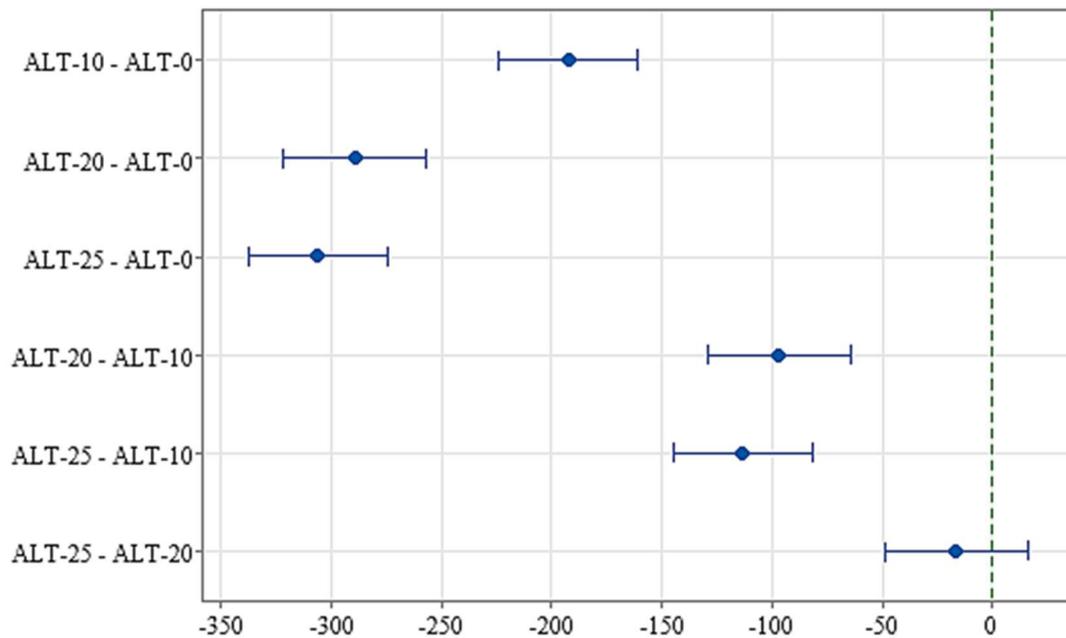
Tabela 22: Agrupamentos pelo método de Tukey para densidade de massa aparente.

Fator	N	Média	Agrupamento
ALT-0	9	1956,47	A
ALT-10	9	1763,99	B
ALT-20	8	1667,10	C
ALT-25	9	1650,60	C

Fonte: Autora (2023).

No teste de Tukey, se o intervalo não contiver o zero, as médias correspondentes apresentam diferenças significativas (Figura 46). Observa-se que apenas o intervalo ALT-25 – ALT-20 passou pelo eixo vertical identificado como zero, corroborando que são estatisticamente iguais.

Figura 46: Diferenças de médias de densidade de massa pelo teste de Tukey.



Fonte: Autora (2023).

#### 5.4.2. Resistência à tração na flexão

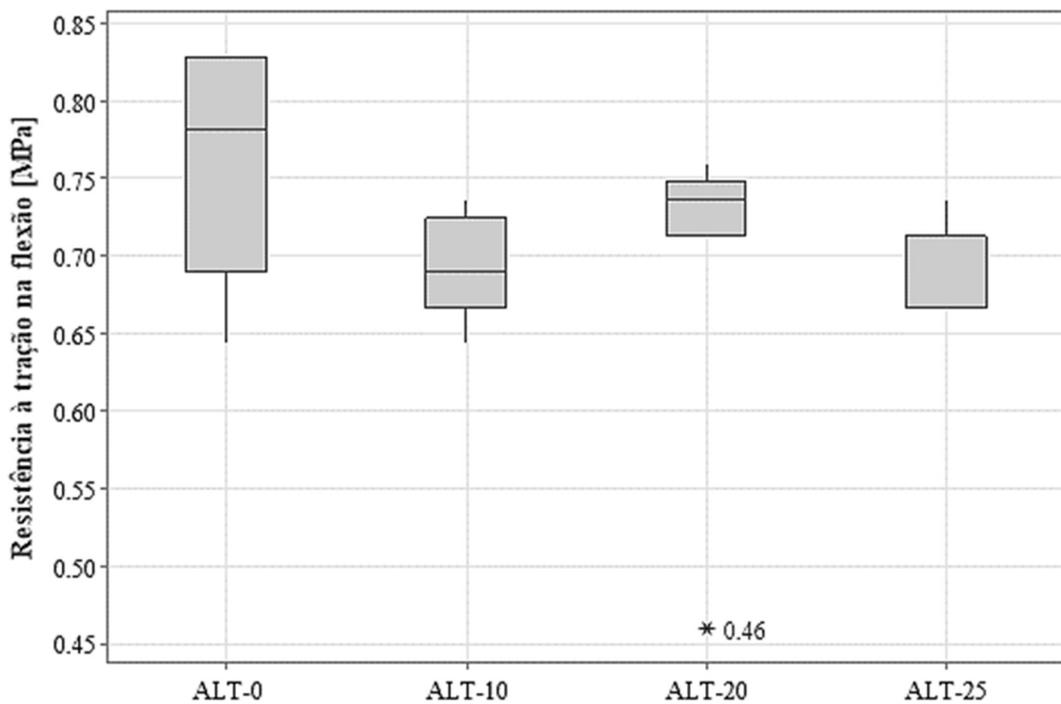
A partir da estatística descritiva para os resultados de resistência à tração na flexão (Tabela 23), o gráfico *boxplot* foi elaborado.

Tabela 23: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de resistência à tração.

Variáv.	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
ALT-0	9	0,76	0,07	0,64	0,69	0,78	0,83	0,83
ALT-10	9	0,69	0,03	0,64	0,67	0,69	0,72	0,73
ALT-20	9	0,70	0,09	0,46	0,71	0,73	0,75	0,76
ALT-25	9	0,69	0,03	0,67	0,67	0,71	0,71	0,73

Fonte: Autora (2023).

A argamassa ALT-20 apresentou menor dispersão dos resultados obtidos, em comparação às demais, apesar de conter um *outlier*. As argamassas ALT-0 e ALT-20 tiveram distribuições assimétricas positivas e a ALT-10, assimétrica negativa (Figura 47).

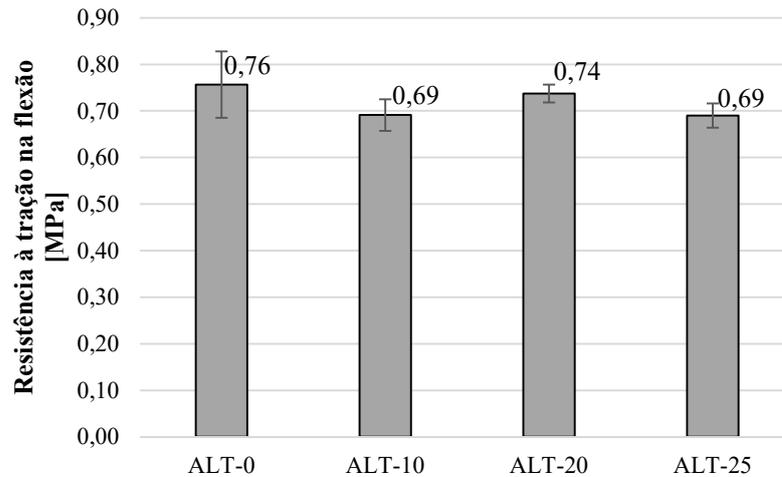
Figura 47: *Boxplot* dos valores de resistência à tração na flexão.

Fonte: Autora (2023).

Retirado o valor anormal identificado, as médias e os desvios padrão foram recalculados (Figura 48). Observa-se uma redução de 9,21 % das argamassas com 10 % e 25 % de lodo, e de 2,63 % para a com 20 % de lodo, em relação à de referência.

Os resultados de Leloup (2013) demonstraram comportamento semelhante, houve redução na resistência à tração na flexão com o aumento do teor de lodo, ocorrendo leve aumento da propriedade para o teor intermediário. Goyal *et al.* (2019) detectaram uma redução contínua da resistência à tração com o acréscimo gradual do lodo têxtil à argamassa.

Figura 48: Resistência à tração na flexão média das argamassas.



Fonte: Autora (2023).

Na análise de variância, o valor- foi de 0,007, que é menor que 0,05, apontando que ao menos uma das médias é diferente das outras (Tabela 24). Com isso, foi aplicado o teste de Tukey novamente.

Tabela 24: Análise de variância da resistência à tração na flexão.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	0,03	0,01	5,07	0,007
Erro	31	0,06	0,00		
Total	34	0,08			

Fonte: Autora (2023).

O teste de Tukey revelou que as argamassas ALT-0 e ALT-10 e ALT-25 não compartilham nenhuma letra, demonstrando que não participam do mesmo agrupamento e apresentam diferenças significativas nas médias (Tabela 25). ALT-0 e ALT-20 não apresentaram diferenças significativas, assim como o outro agrupamento, contendo ALT-10, ALT-25 e ALT-20.

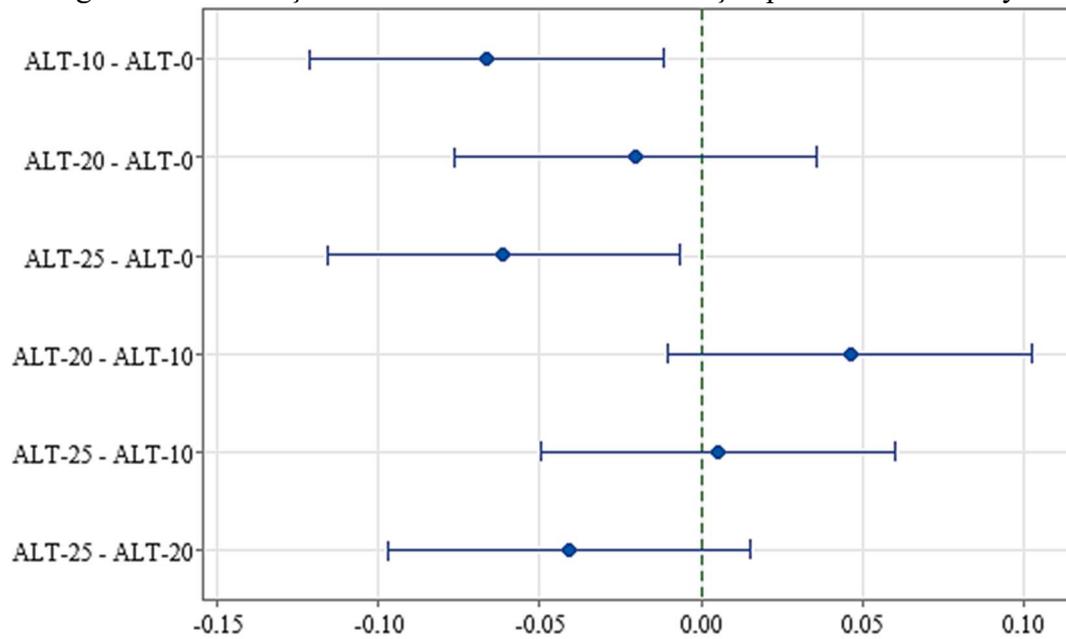
Tabela 25: Agrupamentos pelo método de Tukey para resistência à tração na flexão.

Fator	N	Média	Agrupamento
ALT-0	9	0,76	A
ALT-20	8	0,74	A B
ALT-25	9	0,69	B
ALT-10	9	0,69	B

Fonte: Autora (2023).

O gráfico de comparação de médias de Tukey mostrou que os traços ALT-20 – ALT-0, ALT-20 – ALT-10, ALT-25 – ALT-10 e ALT-25 – ALT-20 contêm o zero, representado pelo eixo vertical em verde, indicando que esses grupos não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 49).

Figura 49: Diferenças de médias de resistência à tração pelo teste de Tukey.



Fonte: Autora (2023).

#### 5.4.3. Resistência à compressão

A estatística descritiva com a média, desvio padrão, quartis, máximos e mínimos dos 18 corpos de prova utilizados na resistência à compressão das argamassas (Tabela 26) foram utilizados para plotar o *boxplot*.

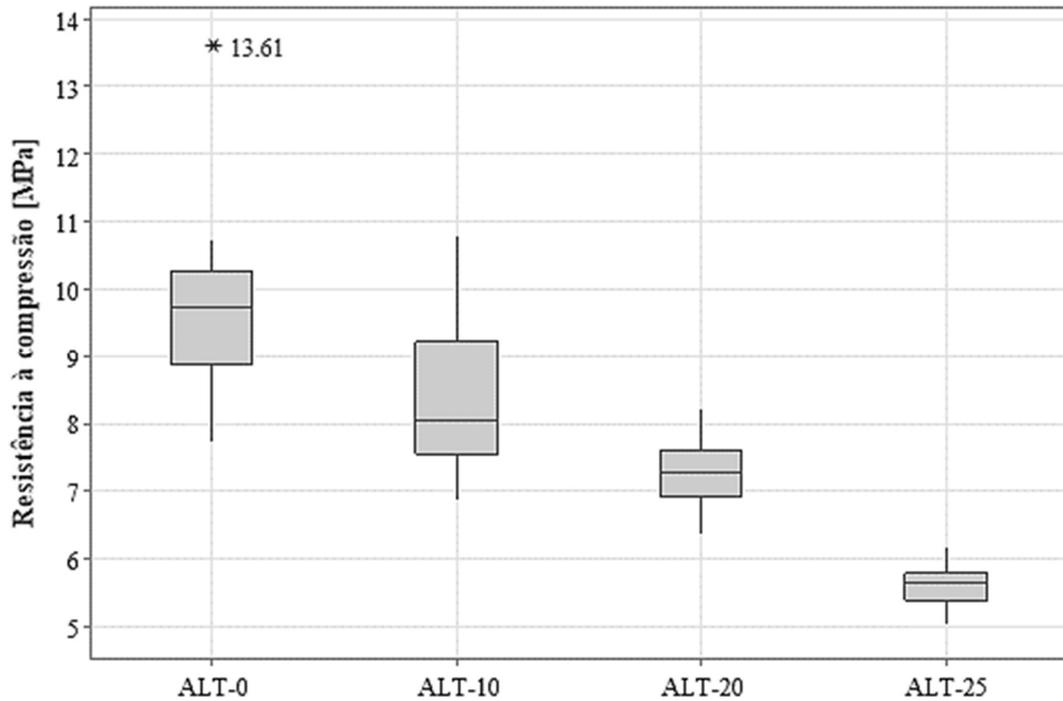
Tabela 26: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de resistência à compressão.

Variáv.	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
ALT-0	18	9,69	1,29	7,72	8,86	9,71	10,25	13,61
ALT-10	18	8,38	1,09	6,86	7,55	8,03	9,22	10,79
ALT-20	18	7,27	0,54	6,37	6,91	7,29	7,61	8,21
ALT-25	18	5,63	0,31	5,03	5,39	5,64	5,79	6,19

Fonte: Autora (2023).

Analisando o *boxplot*, foi identificado um *outlier* nos resultados da ALT-0, no valor de 13,61 MPa. O traço ALT-25 apresentou menor dispersão, enquanto o ALT-10 teve a maior entre os resultados obtidos (Figura 50). A argamassa ALT-20 exibiu distribuição simétrica, estando a mediana ao centro da caixa, enquanto ALT-0 e ALT-25 tiveram distribuição assimétrica positiva e ALT-10, assimétrica negativa.

Figura 50: *Boxplot* dos valores de resistência à compressão.

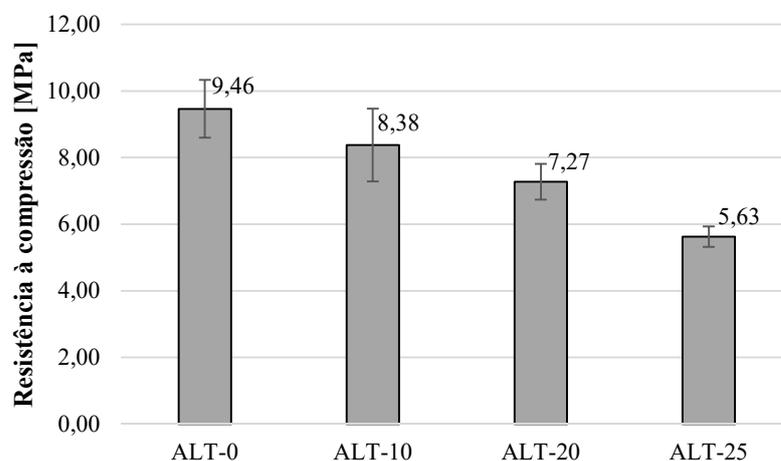


Fonte: Autora (2023).

Retirado o *outlier*, as médias e os desvios padrão foram recalculados. Constatou-se que houve redução da resistência à compressão em todos os traços com lodo, em comparação ao padrão (Figura 51). De ALT-10 para ALT-0, houve redução de 11,41 %, de 23,15 % da padrão para a ALT-20 e de 40,49 % para ALT-25.

Barboza (2011) e Goyal *et al.* (2019) revelaram que o aumento no teor de lodo reduziu gradualmente a resistência à compressão. De forma semelhante, Leloup (2013) também observou a diminuição da propriedade com a incorporação do lodo, mas o aumento do teor aumentou a resistência nos compósitos. Quanto à argamassa padrão, o resultado assemelha-se aos das argamassas de referência de Bernardon *et al.* (2020) e de Matoski *et al.* (2022).

Figura 51: Resistência à compressão média das argamassas.



Fonte: Autora (2023).

O valor-p obtido na ANOVA foi de 2,43E-22, menor que 0,05, significando que existem médias diferentes nas amostras utilizadas (Tabela 27). Por isso, foi aplicado o teste de Tukey.

Tabela 27: Análise de variância da resistência à tração na flexão.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	141,56	47,18	81,69	2,43E-22
Erro	67	38,70	0,58		
Total	70	180,25			

Fonte: Autora (2023).

O teste de Tukey identificou diferenças significativas entre as médias de todos os traços, estando todos em agrupamentos distintos (Tabela 28). Essas diferenças sinalizam que a redução na resistência à compressão foi estatisticamente significativa, quando incorporado o lodo de 10 a 25 %.

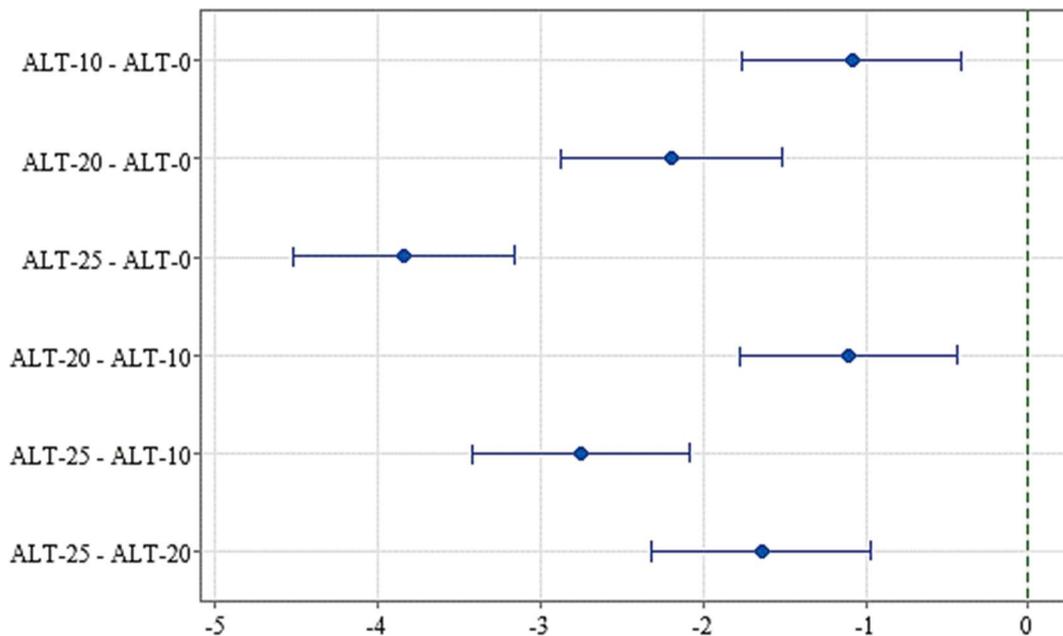
Tabela 28: Agrupamentos pelo método de Tukey para resistência à compressão.

Fator	N	Média	Agrupamento
ALT-0	17	9,46	A
ALT-10	18	8,38	B
ALT-20	18	7,27	C
ALT-25	18	5,63	D

Fonte: Autora (2023).

Como todas as médias apresentaram diferenças, as comparações de médias das argamassas não passaram pelo eixo zero do gráfico de Tukey (Figura 52).

Figura 52: Diferenças de médias de resistência à compressão pelo teste de Tukey.



Fonte: Autora (2023).

#### 5.4.4. Absorção de água e índice de vazios

A estatística descritiva dos resultados de absorção de água descreve os valores utilizados para a elaboração do gráfico *boxplot* (Tabela 29).

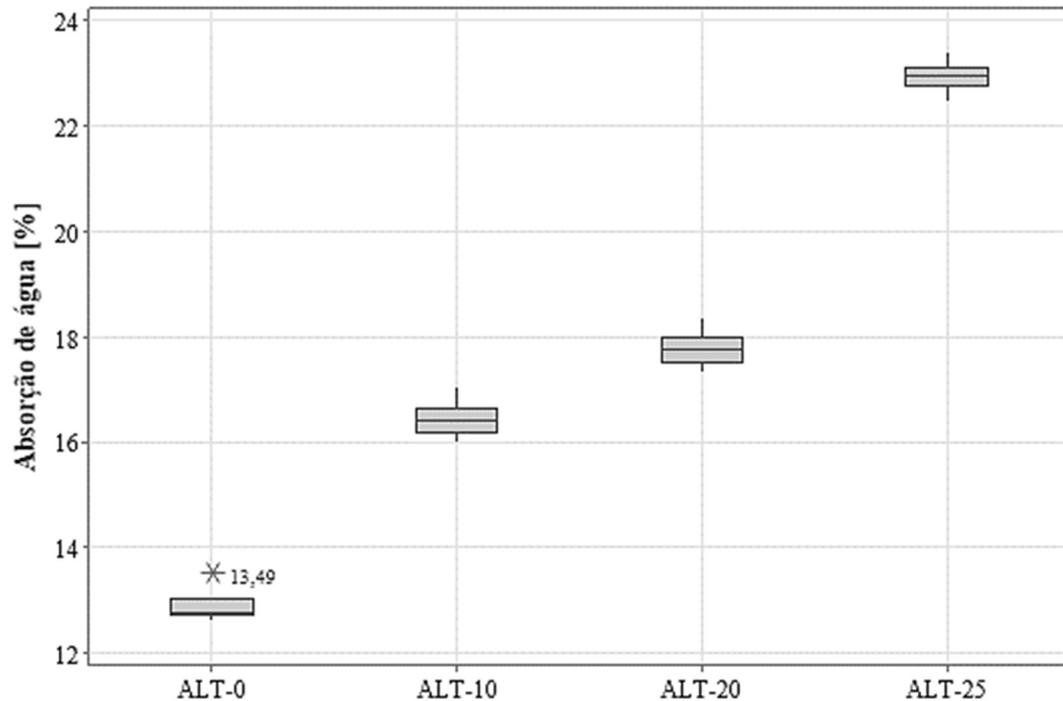
Tabela 29: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de absorção de água.

Variável	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
ALT-0	9	12,88	0,27	12,61	12,70	12,75	13,01	13,49
ALT-10	9	16,41	0,32	15,97	16,16	16,39	16,61	17,02
ALT-20	9	17,76	0,32	17,29	17,50	17,75	17,98	18,35
ALT-25	9	22,93	0,27	22,47	22,74	22,94	23,11	23,40

Fonte: Autora (2023).

Um valor discrepante foi identificado para a argamassa padrão (Figura 53). A dispersão dos resultados de absorção de água foi semelhante para todos os traços, a ALT-25 apresentando menor distanciamento de valores. As argamassas ALT-10 e ALT-20 apresentaram distribuição simétrica, enquanto a de referência teve distribuição assimétrica negativa e a com 25 % de lodo foi assimétrica positiva.

Figura 53: *Boxplot* dos valores de absorção de água.



Fonte: Autora (2023).

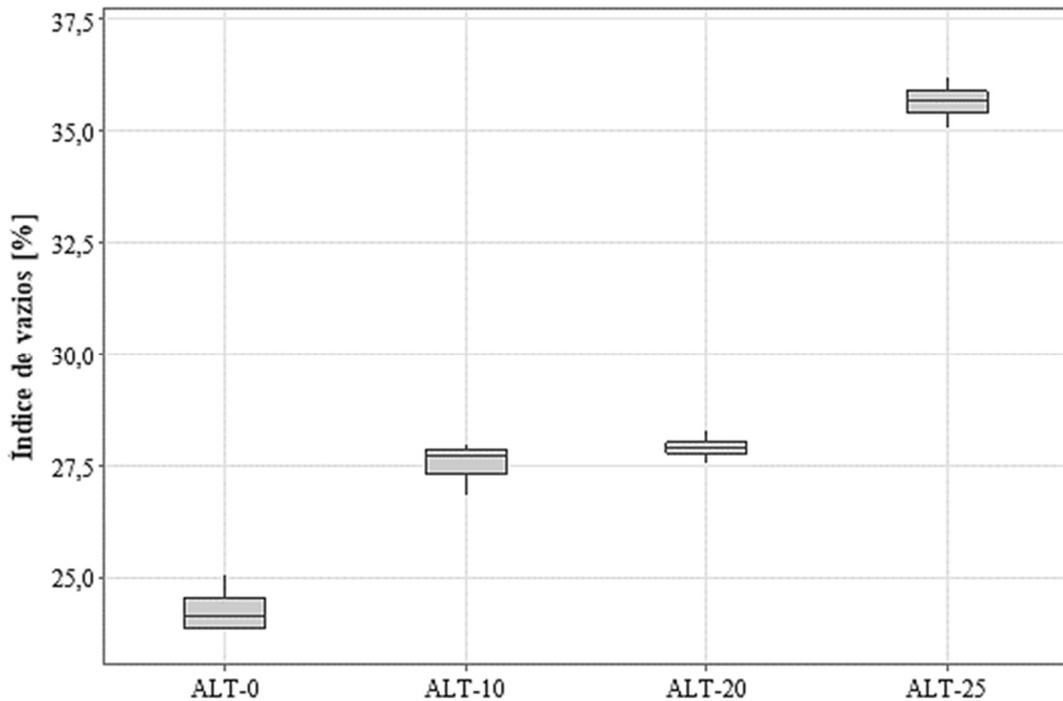
A estatística descritiva para o índice de vazios descreve os resultados que foram utilizados para o *boxplot*, como o mínimo, o máximo e os quartis das amostras (Tabela 30).

Tabela 30: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de índice de vazios.

Variável	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
ALT-0	9	24,23	0,42	23,80	23,84	24,11	24,51	25,05
ALT-10	9	27,55	0,37	26,82	27,28	27,71	27,84	27,96
ALT-20	9	27,88	0,20	27,55	27,75	27,88	28,00	28,26
ALT-25	9	35,64	0,34	35,06	35,38	35,68	35,87	36,19

Fonte: Autora (2023).

Não foram identificados *outliers* nos resultados de índice de vazios (Figura 54). A argamassa ALT-20 apresentou menor dispersão, enquanto o traço sem lodo exibiu a maior. ALT-20 e ALT-25 tiveram distribuição simétrica, ALT-10 teve distribuição assimétrica positiva e ALT-0, assimétrica negativa.

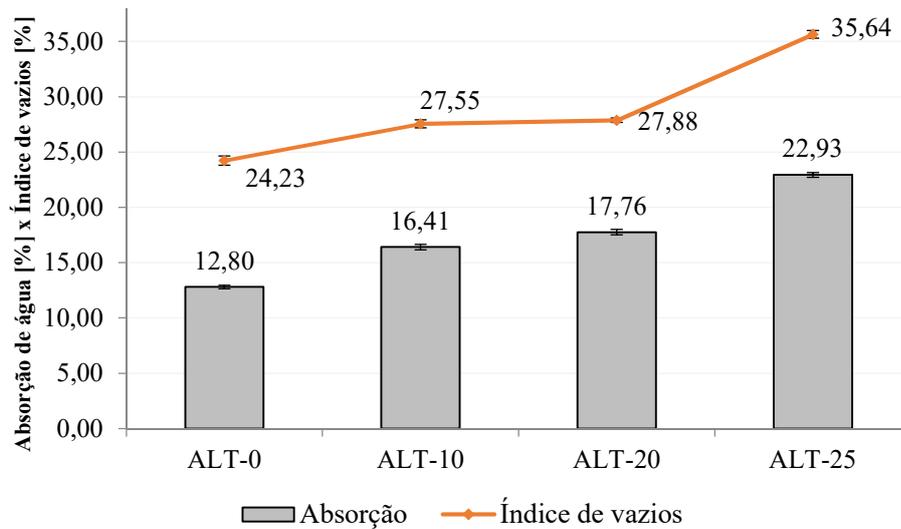
Figura 54: *Boxplot* dos valores de índice de vazios.

Fonte: Autora (2023).

Identificado e apagado o *outlier* da amostra de absorção de água, as médias e os desvios padrão foram novamente calculados. Houve aumento do índice de vazios com a incorporação gradual do lodo, o que reflete no aumento da absorção de água (Figura 55). O aumento máximo de absorção de água, em relação à argamassa padrão, foi para o traço com 25% de lodo, com elevação de 79,14 %. A ALT-25 também apresentou o resultado mais alto em índice de vazios, com acréscimo de 47,09 % em relação a ALT-0.

Goyal *et al.* (2019) avaliaram que a incorporação de 15 a 20 % de lodo a argamassas elevou a porosidade dos corpos de prova, o que provocou aumentos na absorção de água nas argamassas correspondentes.

Figura 55: Absorção de água e índice de vazios médios das argamassas.



Fonte: Autora (2023).

Em comparação a argamassa padrão, Amancio *et al.* (2021) encontraram valores semelhantes de absorção de água e índice de vazios também para argamassas padrão sob o traço de 1:1:6.

A análise de variância indicou um valor- $p < 0,05$  para a absorção de água, portanto, identificou que existem diferenças entre as médias da amostra (Tabela 31).

Tabela 31: Análise de variância da absorção de água.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	452,99	150,99	1927,89	2,65E-35
Erro	31	2,43	0,08		
Total	34	455,42			

Fonte: Autora (2023).

Utilizando o teste de Tukey, é possível afirmar que a absorção de água aumentou significativamente nas argamassas com lodo, comparando-as à argamassa de referência (Tabela 32). Todas as amostras ficaram em agrupamentos diferentes de média, o que indica que o lodo causou alterações estatisticamente significativas nas misturas.

Tabela 32: Agrupamentos pelo método de Tukey para absorção de água.

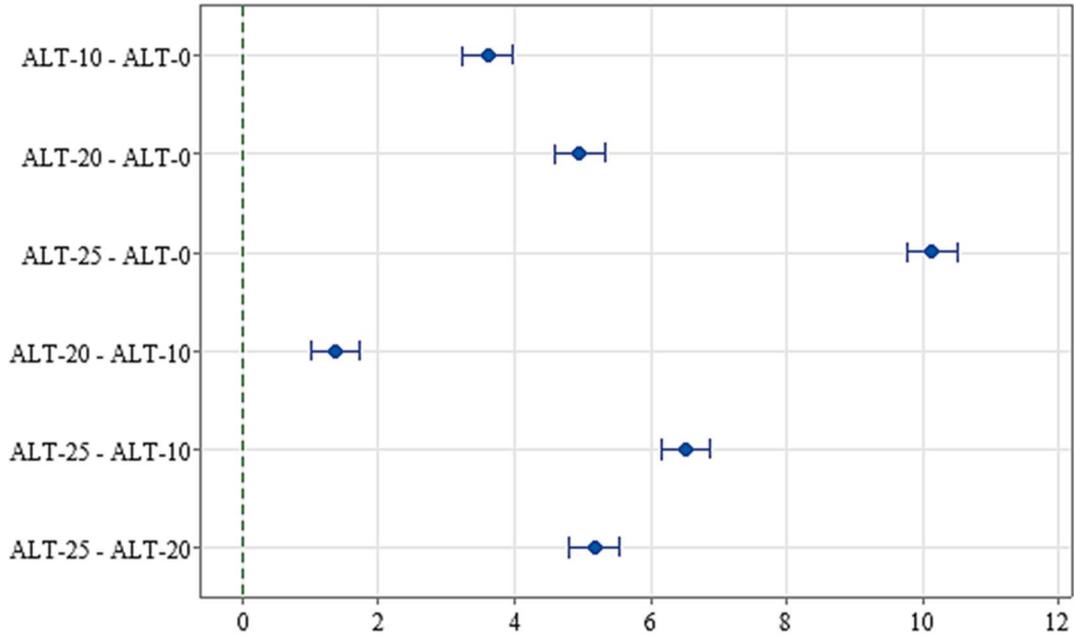
Fator	N	Média	Agrupamento
ALT-25	9	22,93	A
ALT-20	9	17,76	B
ALT-10	9	16,41	C
ALT-0	8	12,80	D

Fonte: Autora (2023).

O gráfico de médias produzido pelo teste de Tukey corrobora os resultados apresentados nos agrupamentos (Figura 56). Relacionando as médias, constata-se que nenhum intervalo

encontra o eixo zero, demonstrando que nenhuma combinação apresentou médias estatisticamente iguais.

Figura 56: Diferenças de médias de absorção de água pelo teste de Tukey.



Fonte: Autora (2023).

A ANOVA aplicada aos resultados de índice de vazios teve valor- $p < 0,05$  (Tabela 33), recomendando-se a aplicação do teste de médias para comparar estes valores.

Tabela 33: Análise de variância do índice de vazios.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	630,04	210,01	1774,21	1,22E-35
Erro	32	3,79	0,12		
Total	35	633,82			

Fonte: Autora (2023).

O teste de Tukey indicou que as médias de ALT-10 e ALT-20 para índice de vazios foi estatisticamente igual, o que não acontece para ALT-0 e ALT-25, que são significativamente diferentes entre si e em relação aos outros traços (Tabela 34). Como nenhum agrupamento coincide com o da argamassa padrão, é possível afirmar que a substituição da areia por lodo aumentou significativamente a presença de vazios nas argamassas.

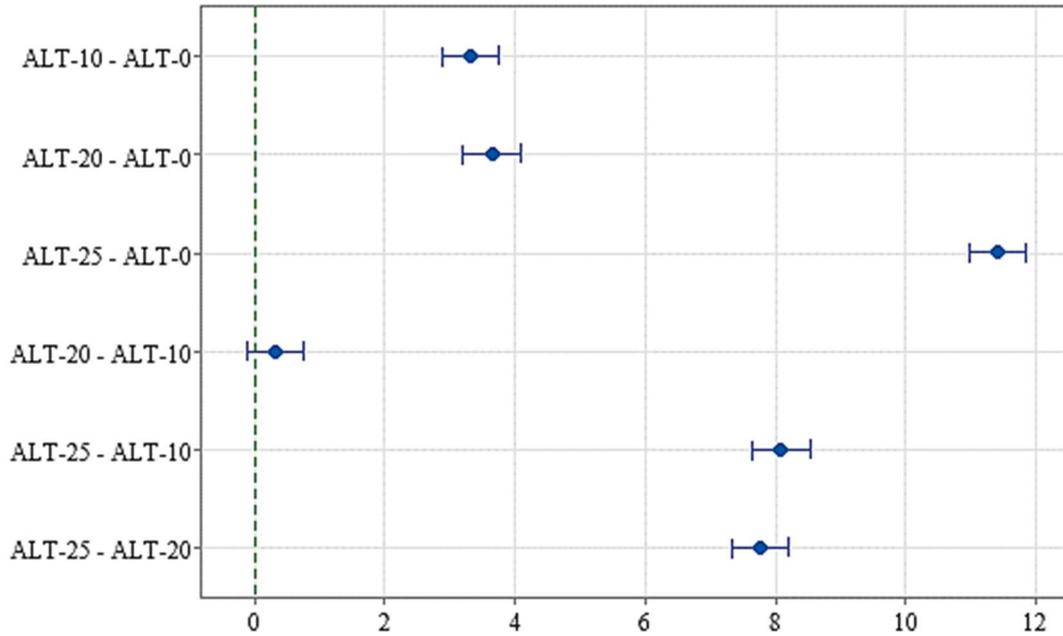
Tabela 34: Agrupamentos pelo método de Tukey para índice de vazios.

Fator	N	Média	Agrupamento
ALT-25	9	35,64	A
ALT-20	9	27,88	B
ALT-10	9	27,55	B
ALT-0	9	24,23	C

Fonte: Autora (2023).

O gráfico com o comparativo das médias atesta a igualdade estatística das argamassas ALT-10 e ALT-20, pois o intervalo destas passa pelo eixo zero (Figura 57). O oposto ocorre nos comparativos de médias das demais, mostrando que são significativamente diferentes.

Figura 57: Diferenças de médias de índice de vazios pelo teste de Tukey.



Fonte: Autora (2023).

#### 5.4.5. Absorção de água por capilaridade

Para a estatística descritiva do ensaio de capilaridade, foram atribuídos os resultados de absorção de água aos 90 minutos ( $A_{90}$ ) (Tabela 35). Os valores foram utilizados para a elaboração dos gráficos.

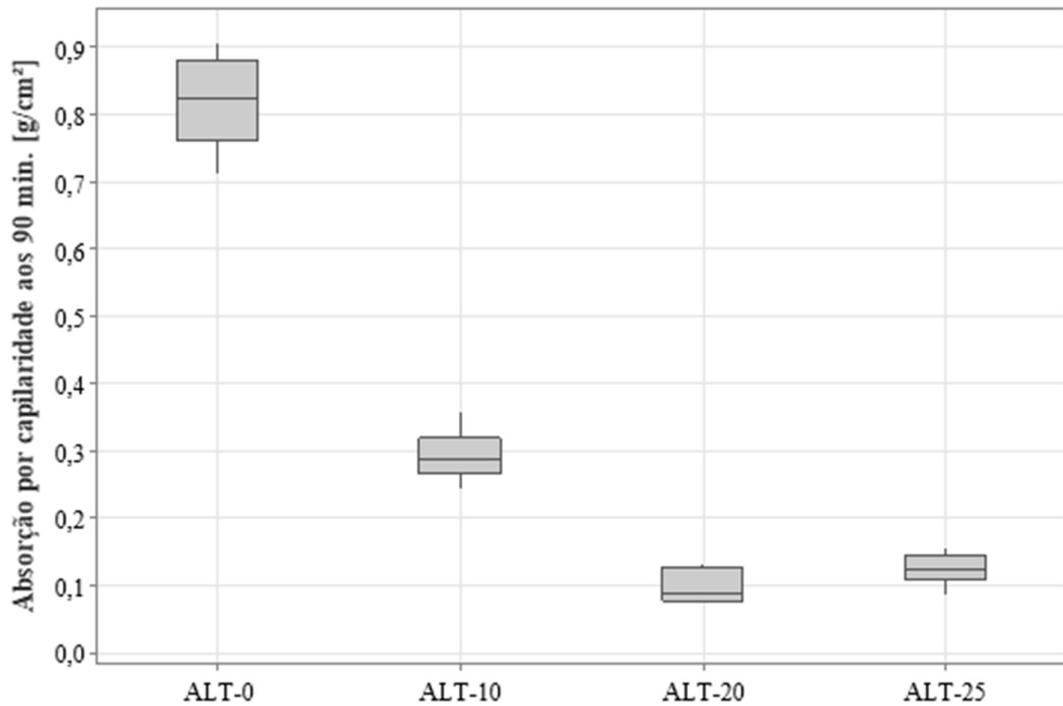
Tabela 35: Estatística descritiva do ensaio de absorção por capilaridade ( $A_{90}$ ).

Variáv.	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
ALT-0	9	0,82	0,07	0,71	0,76	0,82	0,88	0,91
ALT-10	9	0,29	0,03	0,24	0,27	0,29	0,32	0,36
ALT-20	9	0,10	0,02	0,07	0,08	0,09	0,13	0,13
ALT-25	9	0,13	0,02	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16

Fonte: Autora (2023).

Os quartis e os mínimos e máximos da absorção aos 90 minutos foram utilizados para plotar o gráfico *boxplot* (Figura 58), onde não foram detectados *outliers*. Observa-se menor dispersão nos resultados de ALT-25 e maior dispersão nos de ALT-0. A argamassa padrão apresentou distribuição assimétrica positiva, enquanto as demais tiveram distribuição assimétrica negativa.

Figura 58: *Boxplot* dos valores de absorção de água por capilaridade ( $A_{90}$ ).

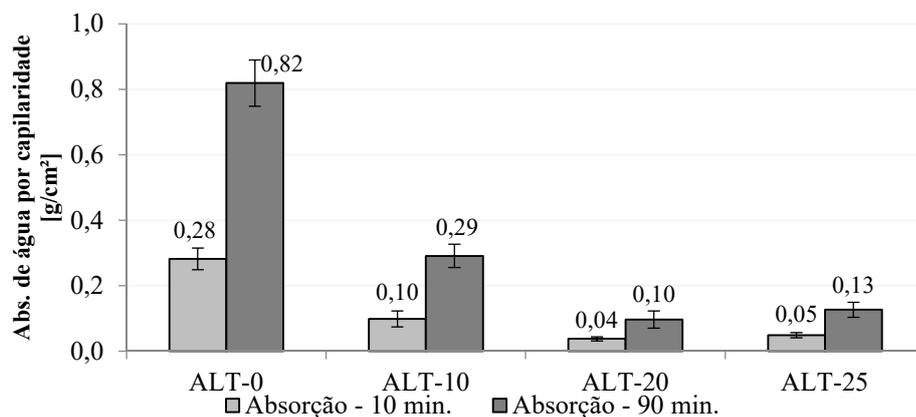


Fonte: Autora (2023).

A incorporação do lodo diminuiu a absorção de água por capilaridade aos 10 e aos 90 minutos de ensaio (Figura 59). Comparando a absorção  $A_{90}$ , a argamassa com 10 % de lodo apresentou redução de 64,63 % em relação à argamassa padrão. A absorção continuou a decrescer para a ALT-20, que reduziu em 87,80 % em comparação a ALT-0. Para o teor de 25 % de incorporação de lodo, a absorção voltou a subir, sendo 30% maior que a da ALT-20.

Leloup (2013) e Barboza (2011) obtiveram resultados semelhantes de absorção de água por capilaridade, que diminuiu com o aumento da fração de lodo incorporado, ocasionando a redução da permeabilidade das argamassas. Bernardon *et al.* (2020) e Antunes (2020) apresentaram resultados para as argamassas de referência semelhantes ao observado para a argamassa padrão no presente estudo.

Figura 59: Absorções de água por capilaridade médias das argamassas ( $A_{10}$  e  $A_{90}$ ).



Fonte: Autora (2023).

O coeficiente de capilaridade é considerado o coeficiente angular da reta que pelos pontos determinados pelas absorções por capilaridade aos 10 min. e aos 90 min. (Tabela 36).

Tabela 36: Coeficientes de capilaridade médios das argamassas.

<b>Tipo de argamassa</b>	<b>Coef. de capilaridade médio [g/dm<sup>3</sup>.min<sup>1/2</sup>]</b>	<b>Desvio padrão</b>
ALT-0	8,61	0,78
ALT-10	3,07	0,29
ALT-20	0,97	0,42
ALT-25	1,22	0,26

Fonte: Autora (2023).

Os resultados de absorção aos 90 minutos foram aplicados a ANOVA e o valor-p foi menor que 0,05, apontando que existem médias significativamente diferentes na amostra analisada (Tabela 37).

Tabela 37: Análise de variância da absorção de água por capilaridade ( $A_{90}$ ).

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ (Aj.)</b>	<b>QM (Aj.)</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
Fator	3	3,03	1,01	567,43	1,63E-22
Erro	32	0,06	0,00		
Total	35	3,09			

Fonte: Autora (2023).

O teste de Tukey foi aplicado para assinalar quais são as médias que diferem estatisticamente (Tabela 38). As argamassas ALT-20 e ALT-25 não apresentaram diferenças significativas, pois ambas apareceram no agrupamento C. A ALT-0 e a ALT-10 são estatisticamente diferentes entre si e também diferem da ALT-20 e da ALT-25. Com isso, é possível afirmar que a incorporação do lodo reduziu significativamente a absorção por capilaridade, principalmente nos teores de 20 % e 25 %.

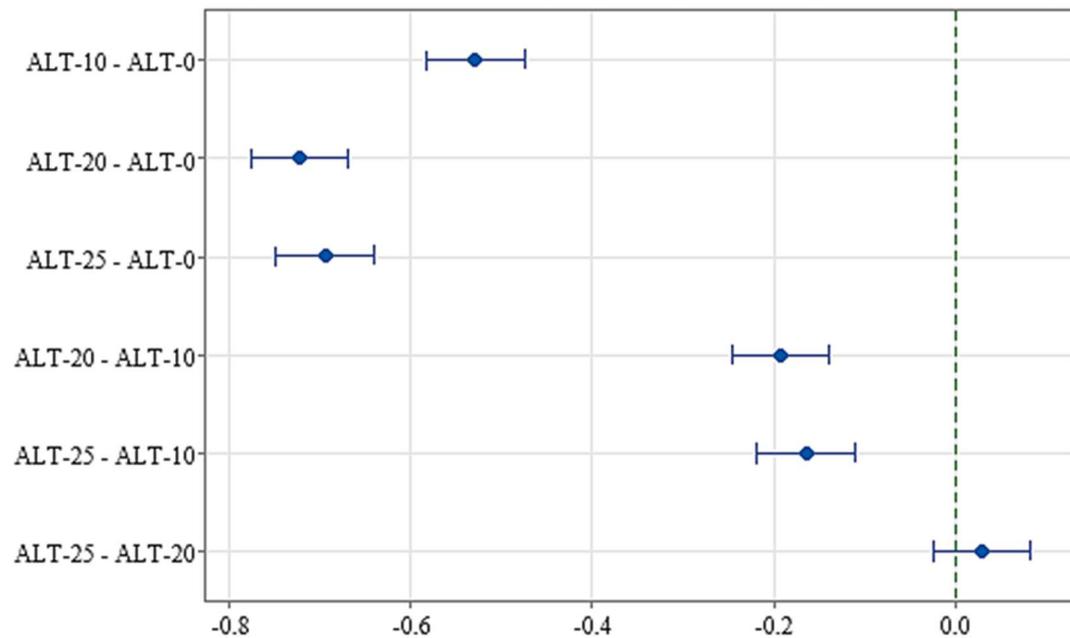
Tabela 38: Agrupamentos pelo método de Tukey para absorção por capilaridade.

<b>Fator</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Agrupamento</b>
ALT-0	9	0,82	A
ALT-10	9	0,29	B
ALT-25	9	0,13	C
ALT-20	9	0,10	C

Fonte: Autora (2023).

O gráfico da comparação das médias confirma que ALT-20 e ALT-25 são estatisticamente iguais, pois o intervalo passa pelo eixo zero (Figura 60). O mesmo não ocorre nas demais comparações, assinalando as diferenças significativas entre estas médias.

Figura 60: Diferenças de médias de absorção por capilaridade pelo teste de Tukey.



Fonte: Autora (2023).

A absorção de água e o índice de vazios apresentaram aumento com a incorporação do lodo, enquanto a absorção de água por capilaridade demonstrou comportamento contrário. As diferenças observadas entre estes resultados estão relacionadas aos tamanhos dos poros presentes nas argamassas.

A absorção por capilaridade está diretamente associada ao fluxo interno de água pelos poros da argamassa, sendo influenciada pelo tamanho desses vazios, pois a ascensão ocorre por tensão superficial (AZEVEDO et al., 2020). Logo, quanto menores os diâmetros dos poros, maior a tensão capilar e maior a absorção de água.

Portanto, os resultados dos ensaios de absorção indicam que a incorporação do lodo atuou na formação de poros com maior diâmetro, o que facilitou a entrada de água no ensaio de absorção e índice de vazios e dificultou a absorção por capilaridade devido a diminuição da tensão capilar.

#### 5.4.6. Resistência de aderência à tração

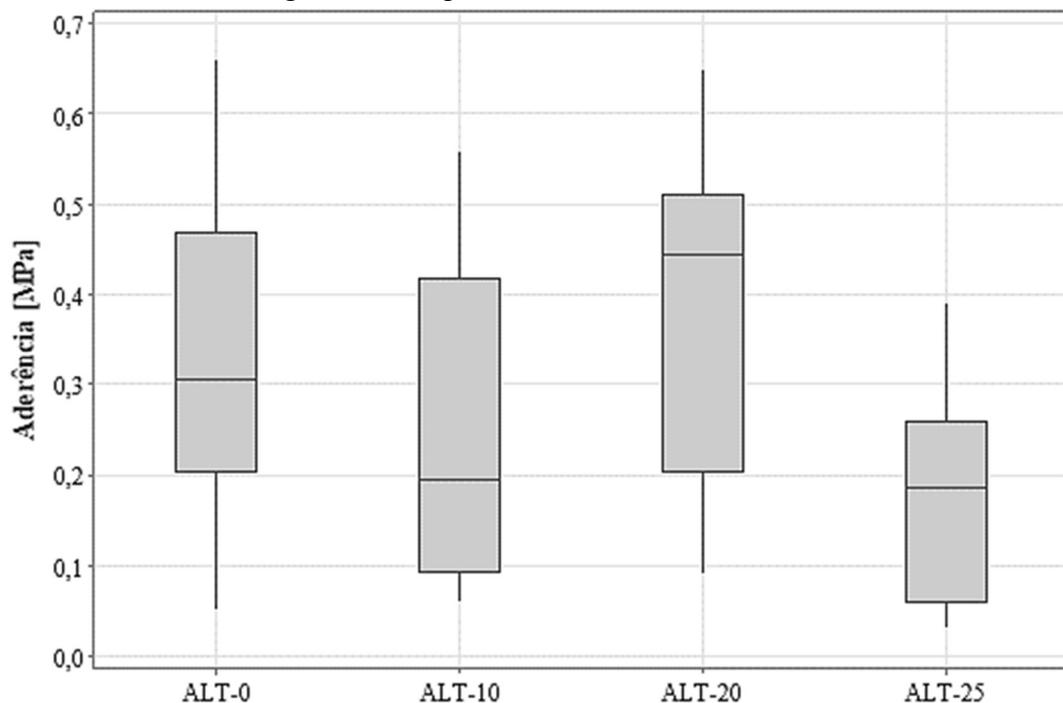
Os valores de máximo, mínimo e os quartis dos resultados da aderência foram obtidos a partir de 12 pontos de ensaio (Tabela 39), como determinado na NBR 13528-2 (ABNT, 2019c).

Tabela 39: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de aderência.

Variável	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
ALT-0	12	0,33	0,19	0,05	0,20	0,30	0,47	0,66
ALT-10	12	0,25	0,18	0,06	0,09	0,20	0,42	0,56
ALT-20	12	0,40	0,18	0,09	0,20	0,45	0,51	0,65
ALT-25	12	0,18	0,11	0,03	0,06	0,18	0,26	0,39

Fonte: Autora (2023).

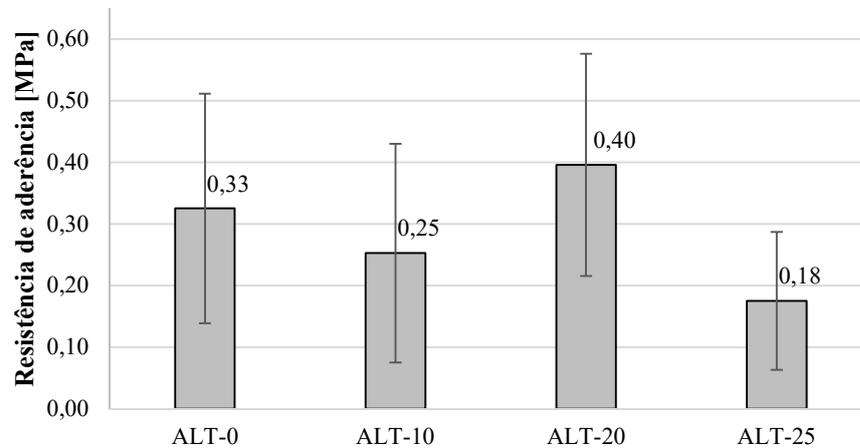
A partir da estatística descritiva, foi elaborado o gráfico *boxplot* dos resultados de aderência. Não foram identificados *outliers* nos conjuntos de dados (Figura 61). A argamassa ALT-25 apresentou a menor dispersão entre as amostras. Quanto ao tipo de distribuição, ALT-0 e ALT-10 tiveram assimetria negativa, e ALT-20 e ALT-25, assimetria positiva.

Figura 61: *Boxplot* dos valores de aderência.

Fonte: Autora (2023).

A aderência diminuiu em 24,24 % de ALT-0 para ALT-10, enquanto a argamassa com 20 % de lodo teve um aumento de 21,21 %, em relação a referência (Figura 62). A mistura com 25 % de lodo apresentou a menor valor de resistência de aderência à tração, com redução de 45,45 %, comparada a ALT-0. Percebe-se novamente a elevada dispersão refletida nos resultados pelo alto desvio padrão obtido. Resultados semelhantes foram descritos para as argamassas de referência de Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007), Santos, Silva e Mota (2021) e Streb e Gauer (2022), em comparação a ALT-0.

Figura 62: Resistência de aderência à tração média das argamassas.



Fonte: Autora (2023).

Pela definição da NBR 13749 (ABNT, 2013b), a argamassa ALT-0 e ALT-20 podem ser utilizadas para revestimentos internos e externos em paredes e em tetos. O traço ALT-10 apresenta possibilidade de uso para revestimento de paredes internas e tetos, enquanto a ALT-25 exibiu resistência abaixo do limite mínimo normativo.

Apesar da possibilidade de aplicação em ambientes internos, tal uso é desencorajado pelo odor dispendido da argamassa com lodo mesmo após o período de cura.

Os painéis para ensaio foram executados por profissional da construção civil, visando padronizar a aplicação das argamassas utilizando as técnicas do mercado. Ainda assim, foram identificados pontos com diferenças na espessura do revestimento, o que pode ter interferido no ensaio de aderência, aumentando as variações nos resultados.

Para avaliar se existem diferenças nas médias obtidas, foi aplicada a análise de variância, que resultou em um valor-p = 0,015, que é menor que o nível de significância do método (Tabela 40).

Tabela 40: Análise de variância da aderência.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	3	0,3243	0,10809	3,89	0,015
Erro	44	1,2229	0,02779		
Total	47	1,5472			

Fonte: Autora (2023).

Para identificar quais as médias que diferem estatisticamente, foi aplicado o teste de Tukey. As argamassas ALT-20 e ALT-25 não compartilham nenhuma letra, estando em agrupamentos diferentes, o que significa que são diferentes (Tabela 41). Enquanto a ALT-0 e a ALT-10 não são significativamente diferentes entre si, nem diferem de ALT-20 ou de ALT-25.

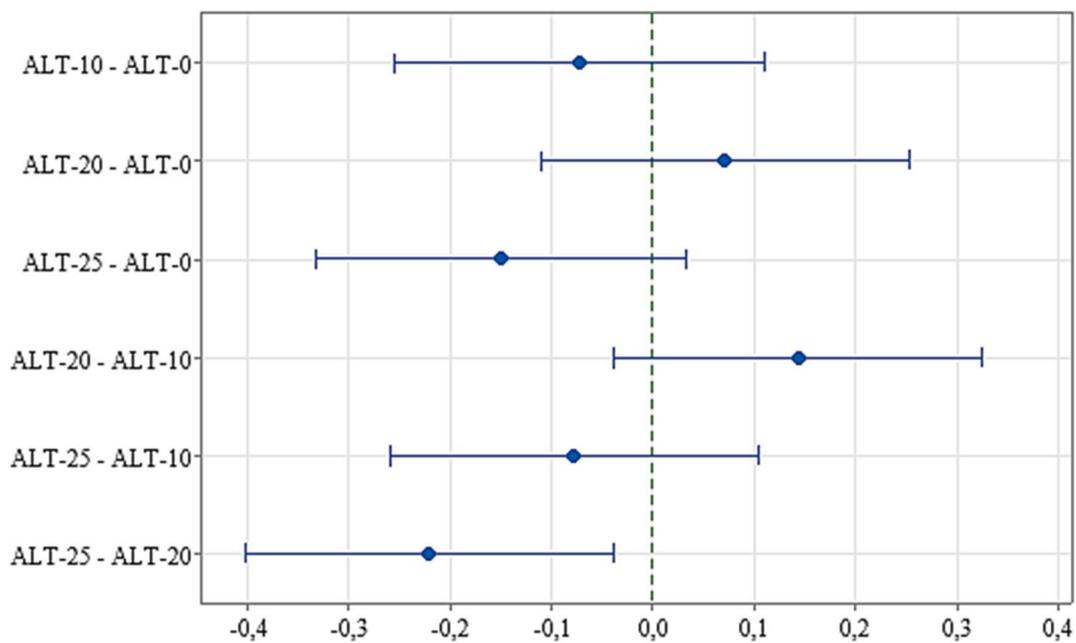
Tabela 41: Agrupamentos pelo método de Tukey para aderência.

Fator	N	Média	Agrupamento
ALT-20	12	0,40	A
ALT-0	12	0,33	A B
ALT-10	12	0,25	A B
ALT-25	12	0,18	B

Fonte: Autora (2023).

O teste comparativo de médias confirma a desigualdade estatística do grupo ALT-25 – ALT-20, cujo intervalo não corta o eixo 0 (Figura 63). Observa-se que todos os outros intervalos passam pelo eixo.

Figura 63: Diferenças de médias de aderência pelo teste de Tukey.



Fonte: Autora (2023).

### 5.5. CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas analisadas foram classificadas quanto aos resultados obtidos nos ensaios listados pela NBR 13281 (ABNT, 2005a), visando proporcionar a comparação das propriedades da argamassa de referência com os compósitos a partir de uma perspectiva normativa (Tabela 42).

Tabela 42: Classificação das argamassas quanto as propriedades da NBR 13281/2005.

Ensaio Tipo	1	2	3	4	5	6
ALT-0	P6	M6	R1	C5	D6	A3
ALT-10	P6	M5	R1	C4	D5	A2
ALT-20	P5	M5	R1	C1	D5	A3
ALT-25	P5	M5	R1	C2	D5	A1

1 – Resistência à compressão; 2 – Densidade de massa aparente est. endurecido; 3 – Resistência à tração na flexão; 4 – Coeficiente de capilaridade; 5 – Densidade de massa est. fresco; 6 – Resistência de aderência à tração.

Fonte: Autora (2023).

## 5.6. ESTUDO DE VIABILIDADE

Vasconcelos (2020) avaliou a produção de resíduo sólido produzido em ETE de uma lavanderia do agreste pernambucano e verificou que o gasto com o transporte do lodo até os aterros sanitários pode chegar a 1 mil reais por mês. Além disso, a autora também afirma que a cada encaminhamento ao aterro, são transportadas de 5 a 7 toneladas de lodo.

Souto (2017) descreve que uma lavanderia de médio porte gasta em média 185 reais por tonelada de lodo, para a disposição no aterro para resíduos industriais mais próximo, em Jaboatão dos Guararapes.

Considerando o percurso Caruaru-Jaboatão com distância média de 200 km e duração de 3 horas, foi possível calcular o custo do transporte para um caminhão que suporte a carga descrita, desconsiderando valores de depreciação, juros, manutenção e seguros do veículo e operador (Tabela 43), e o custo para disposição de 7 toneladas de lodo.

O custo mensal para encaminhamento e disposição final do lodo têxtil ficou por volta de R\$2.400,00, chegando a quase 29 mil reais ao ano.

Tabela 43: Custo mensal para encaminhamento e disposição do lodo no aterro.

<b>Equipamento/Serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo unitário [R\$]</b>	<b>Custo total [R\$]</b>
Caminhão basculante 10 m <sup>3</sup> , carga útil máxima 15 t, inclusive caçamba metálica	h	335,48	1.006,44
Disposição do resíduo em aterro industrial	t	200,00	1400,00

Fonte: Tabelas SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023).

Apesar de não referenciar especificamente o transporte de resíduos sólidos de lavanderias têxteis, a tabela de composições do SINAPI descreve que o transporte com caminhão basculante se aproxima do valor levantado por Vasconcelos (2020).

A quantidade de lodo que é transferida para os aterros varia de acordo com o teor de umidade do material, quanto maior for a quantidade de água, menos resíduo sólido estará sendo carregado pelos caminhões (VASCONCELOS, 2020).

Os custos dos insumos para a produção das argamassas no traço de 1:1:6 foram levantados em lojas de construção no município do Recife, em abril de 2022 (Tabela 44).

Tabela 44: Custo unitário dos insumos para produção das argamassas.

<b>Material</b>	<b>Unid. de venda</b>	<b>Lojas</b>	<b>Custo [R\$]</b>
Cimento CP-II 32	50 kg	1	29,90
		2	32,90
		3	33,90
Cal CH-I	20 kg	1	23,90
		2	17,90
		3	29,90
Areia média lavada	20 kg	1	6,90
		2	5,90
		3	7,19

Fonte: Autora (2023).

Considerando o preço médio dos insumos de cada loja e optando pelos preços mais baixos, a Loja 2 apresentou os menores preços, que foram utilizados para o cálculo de custos das argamassas.

Foram calculados os quantitativos de insumos e os respectivos custos para a produção de 1 m<sup>3</sup> de argamassa padrão, considerando as massas específicas dos materiais (Tabela 45).

Tabela 45: Cálculo do consumo de materiais para 1 m<sup>3</sup> de argamassa padrão.

<b>Traço</b>	<b>Cimento</b>	<b>Cal</b>	<b>Areia</b>	<b>A/C</b>	<b>Total/Traço</b>
Massa [kg]	1,00	1,00	6,00	1,25	9,25
Massa [kg]/1 saco de cimento	50,00	50,00	300,00	62,50	462,50
Peso específico real [kg/m <sup>3</sup> ]	2860,00	2360,00	2570,00	1000,00	-
Volume Real [m <sup>3</sup> ]/1 saco de cimento	0,017483	0,021186	0,116732	0,062500	0,217900
Volume Real Consumido para 1m <sup>3</sup> de argamassa [m <sup>3</sup> ]	0,080232	0,097230	0,535710	0,286828	1,000000
Consumo em massa para 1m <sup>3</sup> de argamassa [kg]	229,462556	229,462556	1376,7753	286,828194	2122,528639

Fonte: Autora (2023).

A partir do consumo de materiais calculado, foi possível estimar o custo total para a execução de 1 m<sup>3</sup> da argamassa padrão, com os preços levantados para os materiais na Loja 2 (Tabela 46).

Tabela 46: Custo para a produção de 1 m<sup>3</sup> da argamassa padrão.

<b>Material</b>	<b>Quantitativo [kg]</b>	<b>Custo final [R\$]</b>
Cimento	229,463	150,98
Cal	229,463	205,37
Areia	1.376,775	406,15
Água	285,96	-
Total:		762,50

Fonte: Autora (2023).

O valor final para a produção de 1 m<sup>3</sup> da argamassa de referência foi de R\$ 762,50. De forma semelhante, foram calculados o consumo dos materiais para a preparação de 1 m<sup>3</sup> da argamassa com 20 % de lodo em substituição à areia, considerando as massas específicas dos materiais utilizados (Tabela 47).

Tabela 47: Cálculo do consumo de materiais para 1 m<sup>3</sup> de argamassa ALT-20.

<b>Traço</b>	<b>Cimento</b>	<b>Cal</b>	<b>Areia</b>	<b>Lodo</b>	<b>A/C</b>	<b>Total/Traço</b>
Massa [kg]	1,00	1,00	4,80	1,20	1,70	9,70
Massa [kg]/1 saco de cimento	50,00	50,00	240,00	60,00	85,00	485,00
Peso Específico Real [kg/m <sup>3</sup> ]	2860,00	2360,00	2570,00	1620,00	1000,00	-
Volume Real [m <sup>3</sup> ]/1 saco de cimento	0,01748	0,02119	0,09338	0,03704	0,08500	0,25409
Volume Real Consumido para 1m <sup>3</sup> de argamassa [m <sup>3</sup> ]	0,06880	0,08338	0,36753	0,14576	0,33453	1,00000
Consumo em massa para 1m <sup>3</sup> de argamassa [kg]	196,7797	196,7797	944,5427	236,1357	334,5255	1908,7634

Fonte: Autora (2023).

O custo total para a produção de 1 m<sup>3</sup> da argamassa ALT-20 foi calculado a partir do consumo dos materiais utilizados, utilizando os valores apresentados para a Loja 2 (Tabela 48).

Tabela 48: Custo para a produção de 1 m<sup>3</sup> da ALT-20.

<b>Material</b>	<b>Quantitativo [kg]</b>	<b>Custo final [R\$]</b>
Cimento	196,78	129,48
Cal	196,78	176,12
Areia	944,54	278,64
Lodo	236,14	-
Água	334,52	-
Total:		584,24

Fonte: Autora (2023).

O custo total para a produção de 1 m<sup>3</sup> da argamassa com 20 % de lodo foi de R\$ 584,24, redução de 23,18 % em relação à argamassa sem lodo.

Para as 7 toneladas de lodo encaminhadas ao aterro por mês, estima-se que seria possível produzir 29,64 m<sup>3</sup> de argamassa fresca (Tabela 49), gerando uma economia de R\$ 41.300,00 em areia por mês.

Tabela 49: Cálculo do volume real de ALT-20 para 7t de lodo.

<b>Traço</b>	<b>Cimento</b>	<b>Cal</b>	<b>Areia</b>	<b>Lodo</b>	<b>a/c</b>	<b>Total / Traço</b>
Massa [kg]	1,00	1,00	4,80	1,20	1,70	9,70
Massa [kg]/7 t de lodo	5833,33	5833,33	27999,98	7000,00	9916,66	56583,30
Peso específico real [kg/m <sup>3</sup> ]	2860,00	2360,00	2570,00	1620,00	1000,00	-
Volume Real [m <sup>3</sup> ]/7 t de lodo	2,03963	2,47175	10,89493	4,32098	9,91666	29,643957

Fonte: Autora (2023).

Santoro e Kripka (2016) avaliaram as emissões de dióxido de carbono provenientes das etapas de produção e transporte das matérias primas de concretos, obtendo um valor total de 5.342 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de areia natural, agregado miúdo utilizado na pesquisa. Observando os volumes reais de consumo de areia e dos outros insumos utilizados nas misturas, calculou-se que são emitidos 2.861,71 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> para a argamassa sem lodo, contra 1.963,18 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> para a ALT-20. A substituição da areia por lodo no teor de 20 % causou uma diminuição de 31,40 % na emissão de dióxido de carbono, decorrente dos processos de exploração, beneficiamento, armazenagem e transporte do agregado miúdo.

A implantação de uma central de tratamento de lodo nas lavanderias industriais cessaria a necessidade de pagamento de transporte e de taxas para disposição do lodo em aterros, além de gerar emprego e renda para a comunidade local, possibilitar a reinserção do resíduo em um processo produtivo, reduzir o uso de um material custoso no mercado e cuja exploração em jazidas e rios causa impactos ambientais, juntamente com a diminuição dos riscos de poluição no local de disposição e no transporte do lodo.

## 6. CONCLUSÕES

A nuvem de palavras demonstrou que o termo “sustentabilidade” foi recorrente nos estudos relacionados a aplicação de resíduos têxteis na construção civil, enquanto não houve ocorrência do termo “argamassa”, objeto do presente estudo.

Os países que mais produziram sobre a reutilização de resíduos têxteis no setor da construção foram a Espanha, cujo governo estabeleceu a meta de reduzir em 55 % a geração de resíduos até 2025, e a Etiópia, onde a indústria do vestuário está em crescimento.

O lodo coletado apresentou alto teor de umidade, chegando a 68,9 % da massa representada por água. O teor de matéria orgânica obtido foi de 3,33 %, valor abaixo do levantado na literatura, que pode ter sido ocasionado pelo tipo de procedimento fabril aplicado às peças, que resultaram em uma menor carga de matéria orgânica.

O resíduo passou por um tratamento prévio às moldagens e a realização de ensaios secos, buscando desenvolver um material granular semelhante a um agregado miúdo. Então, o lodo seco, triturado e peneirado na malha de 4,75 mm, passou pelo ensaio de granulometria, no qual foi classificado com distribuição em zona ótima para agregado miúdo.

A massa específica do lodo tratado foi de 1,62 g/cm<sup>3</sup>, representando 61,6 % da massa do agregado miúdo caracterizado na pesquisa. A massa unitária representou 44,5 % da massa da areia, com 706,3 kg/m<sup>3</sup>.

Quanto a caracterização química do lodo têxtil, observou-se a predominância do cálcio, silício, magnésio e alumínio, elementos presentes nos processos de beneficiamento do jeans e do tratamento do efluente resultante.

A análise mineralógica do resíduo identificou picos de calcita (CaCO<sub>3</sub>), dolomita (Ca.Mg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) e quartzo (SiO<sub>2</sub>) na composição, confirmando a presença dos elementos identificados na análise química. O ensaio DRX também apontou a existência de um halo amorfo, indicando a existência de compostos orgânicos voláteis.

A análise térmica demonstrou que o lodo tratado apresentou perda de umidade residual até 215 °C, seguida da redução da massa pela volatilização de compostos orgânicos até 540 °C e um terceiro estágio de perda de massa até 750 °C, ocasionada pela decomposição de materiais inorgânicos.

Empregando o intervalo de espalhamento fixado de 260 ± 5 mm para o índice de consistência, as argamassas tiveram relações água/aglomerantes entre 0,625 e 0,925. A incorporação e o aumento do teor de lodo afetaram a trabalhabilidade das argamassas, devido a finura do material, o que ocasionou a elevação do consumo de água nos compósitos.

Ainda no estado fresco, as argamassas foram submetidas ao ensaio de densidade de massa. Com a incorporação dos teores de lodo, verificou-se a diminuição gradual da densidade das argamassas, em relação à de referência. Tal comportamento é justificado pela diferença das massas específicas do agregado e do lodo. A argamassa padrão foi classificada como D6, enquanto os compósitos foram classificados como D5.

Iniciando as análises para o estado endurecido, verificou-se a densidade de massa aparente das argamassas. Analogamente ao ocorrido no estado fresco, a densidade de massa também diminuiu com a incorporação gradual do lodo têxtil, com redução de até 15,63 %, em relação a ALT-0. Apesar do comportamento semelhante, a densidade de massa no estado endurecido foi ligeiramente menor que a no estado fresco. Os testes estatísticos apontaram que ALT-20 e ALT-25 tiveram densidades de massa estatisticamente iguais, embora apresentem diferenças significativas para ALT-0 e ALT-10, que também foram diferentes entre si. A argamassa sem lodo foi classificada como M6 e os compósitos, M5.

Na resistência à tração na flexão, foram verificadas reduções de 9,21 % para ALT-10 e ALT-25, e de 2,63 % para ALT-20, comparando-as com ALT-0. A ANOVA e o teste de Tukey identificaram que ALT-0, ALT-10 e ALT-25 apresentaram diferenças significativas nas médias de resistência à tração, enquanto os agrupamentos ALT-0 - ALT-20 e ALT-10 - ALT-20 - ALT-25 não tiveram médias estatisticamente distintas. Apesar das diferenças identificadas, todas as argamassas foram classificadas como R1 para esta propriedade.

A propriedade de resistência à compressão diminuiu com a incorporação gradual do lodo, com reduções de 11,41 %, 23,15 % e 40,49 % para as argamassas com 10, 20 e 25 % de lodo, respectivamente, em comparação com a padrão. Todas as médias apresentaram diferença significativa entre si, estando em agrupamentos diferentes no teste de Tukey. As argamassas ALT-0 e ALT-10 foram classificadas como P6, ALT-20 e ALT-25 foram P5.

Com isso, nota-se que o lodo têxtil atuou reduzindo significativamente a resistência à compressão, enquanto a resistência à tração na flexão diminuiu estatisticamente apenas nos teores de 10 % e 25 % de substituição, em relação à argamassa sem lodo.

A incorporação do lodo aumentou o índice vazios e a absorção de água nas argamassas, com a ALT-25 apresentando os maiores valores, com um aumento de 79,14 % na absorção de água, comparando com a ALT-0. O teste de Tukey indicou que todas as argamassas apresentaram diferenças significativas para a absorção de água, enquanto para o índice de vazios a ALT-10 e ALT-20 apresentaram médias estatisticamente iguais. Portanto, o aumento do teor de lodo aumentou significativamente a propriedade de absorção de água.

A propriedade de absorção de água por capilaridade apresentou comportamento diferente do ensaio anterior. Com o aumento do percentual de incorporação do lodo, a absorção por capilaridade diminuiu, chegando a uma redução de 87,80 % para a argamassa com 20 %, em comparação à argamassa sem lodo, para os 90 minutos de ensaio. Os testes estatísticos indicaram que as argamassas ALT-20 e ALT-25 não apresentaram diferenças significativas para a absorção por capilaridade aos 90 minutos, o que não ocorreu para as demais misturas, pois ALT-0, ALT-10 e ALT-20/ALT-25 ficaram em agrupamentos distintos.

A partir do coeficiente de capilaridade calculado, ALT-0 foi classificada como C5, ALT-10 como C4, ALT-20 como C1 e ALT-25, C2. A incorporação do lodo diminuiu significativamente absorção de água por capilaridade nas amostras. O teor ótimo de substituição, levando em consideração esta propriedade, deve ser maior que 10 % e menor que 25 %, considerando que a absorção volta a aumentar neste teor.

Quanto à resistência de aderência à tração, observou-se a redução de 24,24 % para ALT-10 e de 45,45 % para ALT-25, comparadas à ALT-0. A argamassa com 20 % de lodo apresentou aumento de 21,21 % em relação a de referência. Os testes estatísticos apresentaram diferença significativa entre as médias de ALT-20 e ALT-25, enquanto todos os outros agrupamentos tiveram médias estatisticamente iguais. Novamente, observa-se que o teor ótimo de substituição para esta propriedade deve ser maior que 10 % e menor que 25 %.

As argamassas ALT-0 e ALT-20 foram classificadas como A3 para aderência, enquanto ALT-10 foi classificada como A2 e ALT-25, A1. A argamassa com 20 % pode ser utilizada para revestimentos internos e externos e tetos, enquanto a com 10 % pode ser utilizada para revestimentos internos e tetos e a de 25 % ficou abaixo do limite mínimo normativo.

Apesar da possibilidade de uso para ambientes internos, o uso do compósito não é aconselhado devido ao odor que permanece no revestimento mesmo após o período de cura.

Utilizando o traço com 20 % de lodo, o qual apresentou os resultados mais promissores quanto a aderência e absorção por capilaridade, foi possível atestar que o custo para a produção de 1 m<sup>3</sup> da argamassa de revestimento gerou a economia de R\$ 176,26, uma redução de 23,18 %, em relação à argamassa sem lodo. A partir do volume real de areia aplicado na preparação de 1 m<sup>3</sup> da ALT-0 e da ALT-20, também foi possível estimar uma diminuição de 31,40 % nas emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da produção e transporte do agregado miúdo.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dando continuidade ao tema de reaproveitamento de resíduos de indústrias têxteis e materiais de construção, são propostas algumas temáticas para a comunidade acadêmica:

- A nuvem de palavras, apresentada na meta-análise do presente estudo (tópico 5.1.3) indicou que Resíduos têxteis e tijolo cerâmico é um tema pouco desenvolvido na literatura, configurando-o como ponto de oportunidade para pesquisa;
- Avaliação da incorporação do lodo para outros traços de argamassa, inclusive em proporções utilizadas para assentamento;
- Classificação de argamassas com lodo a partir da norma atualizada 13281-1 (ABNT, 2023), que lista requisitos de desempenho para argamassas de revestimento;
- Análise de argamassas com lodo sem alteração da relação água/aglomerantes através de aditivos plastificantes;
- Estudo das alterações microestruturais causadas pelo lodo em argamassas de cimento e cal;
- Desenvolvimento de metodologia que incorpore o lodo natural, sem que ocorra o tratamento prévio;
- Verificação as propriedades de argamassas utilizando o lodo têxtil como adição;
- Durabilidade da argamassa com lodo têxtil.

## REFERÊNCIAS

- ABIT – Associação Brasileira de Indústria Têxtil e de Confecção. **Perfil do Setor**, 2021. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- AILENEI, E. C.; IONESI, S. D.; DULGHERIU, I.; LOGHIN, M. C.; ISOPESCU, D. N.; MAXINEASA, S. G.; BACIU, I. R. New waste-based composite material for construction applications. **Materials**, v. 14, n. 20, 2021. Doi: 10.3390/ma14206079.
- AITEX. **Obligatory selective collection of textile waste before the 1st January 2025**, 2021. Disponível em: <https://www.aitex.es/obligatory-selective-collection-of-textile-waste-before-the-1st-january-2025/?lang=en#:~:text=Although%20the%20European%20directive%20does,2030%20and%2065%25%20in%202035>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- ALWARD, A. I.; JAEEL, A. J.; ISMAIL, Z. Z. New application of eco-friendly biosorbent giant reed for removal of reactive dyes from water followed by sustainable path for recycling the dyes-loaded sludge in concrete mixes. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, n. 4, p. 1036–1046, 2020. Doi: 10.1007/s10163-020-00998-4.
- ALVES, M. F. A. **Índice de eficiência hídrica em edificações industriais de lavanderias de jeans no Agreste Pernambucano**. 2020. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.
- AMANCIO, F. A.; DIAS, A. R. O.; LIMA, D. A.; CABRAL, A. E. B. Estudo do comportamento no estado fresco e endurecido de argamassa com escória de aciaria BSSF. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 3, 2021. Doi: 10.1590/s1517-707620210003.13031.
- ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **O Mercado de Agregados no Brasil: Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção**, 2015. Disponível em: <https://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/8-mercado-de-agregados-no-brasil>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- ANTUNES, C. B. **Análise do uso de grãos da areia de britagem de origem granítica na produção de argamassas de revestimento**. 2020, 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27: Agregados - redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11513**: Materiais granulares usados em fundição — Determinação da massa específica pelo uso do frasco volumétrico de “Le Chatelier”. Rio de Janeiro, 2016d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-1**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland -

Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-2**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2 – Aderência ao substrato. Rio de Janeiro: ABNT, 2019c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

AZEVEDO, A. R. G.; MARVILA, M. T.; REIS, J. P.; ZANELATO, E. B.; MANHÃES, A. L.F.; MONTEIRO, S. N.; PEDROTI, L. G.; MENDES, B. C.; CERQUEIRA, N. A.; SOUZA, V. Capillary absorption evaluation of different mortars applied in civil construction. **Minerals, Metals and Materials Series**, v. PartF1, n. January, p. 555–562, 2020. Doi: 10.1007/978-3-030-36628-5\_54.

BACCOUCH, W. GHITH, A.; YALCIN-ENIS, I.; SEZGIN, H.; MILED, W.; LEGRAND, X.; FATEN, F. Investigation of the mechanical, thermal, and acoustical behaviors of cotton, polyester, and cotton/polyester nonwoven wastes reinforced epoxy composites. **Journal of Industrial Textiles**, v. 51, n. 6, p. 876–899, 1 jan. 2022.

BARBOZA, A. A. S. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com Adição concomitante de cinzas de lenha e lodo têxtil gerados no APL de Confecções Pernambucano**. 2011. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2011.

BARBOZA, L. S.; BATISTA, V. M.; NEVES, K. V.; SANTOS, R. S. Feasibility study of the use of ceramic polishing and grinding residues for mortar manufacturing. **Revista Materia**, v. 25, n. 4, p. 1–17, 2020. Doi: 10.1590/S1517-707620200004.1198.

BERNARDON, L.; WAECHTER, J. L.; SILVA, R. A.; LERMEN, R. T.; NOVAES, J. F. Avaliação da substituição total de areia natural por RCC em argamassa de assentamento Evaluation of total replacement of natural sand by CDW in masonry mortars. **Arquitetura IMED**, v. 9, p. 173–192, 2020.

BERTINETTO, C.; ENGEL, J.; JANSEN, J. ANOVA simultaneous component analysis: A tutorial review. **Analytica Chimica Acta**: X, v. 6, p. 100061, 2020. Doi: 10.1016/j.acax.2020.100061.

BEZERRA, C. G. OLIVEIRA, S.; HASPARYK, N. P.; GLORIA, M. Y. R.; SANTOS, D. O. J.; PEREIRA, A. C.; BALTHAR, V. K. C. B. L. M.; TOLEDO FILHO, R. D. Caracterização reológica de pastas ternárias para o desenvolvimento de bioconcretos leves de casca de arroz. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 28, n. 1, 2023. Doi: 10.1590/1517-7076-rmat-2022-0254

BIZUNEH, B.; TADESSE, R. Investigation of Ethiopian apparel industry's fabric waste and its management strategies. **Journal of the Textile Institute**, v. 113, n. 1, p. 141–150, 2020. Doi: 10.1080/00405000.2020.1865509.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Diário Oficial da União**: 5 out. 1988.

BRASIL. Lei nº 1.413 de 31 de julho de 1975. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. **Diário Oficial da União**: 14 ago. 1975.

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: 31 ago. 1981.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: 12 fev. 1998.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: 2 ago. 2010.

BRASIL. Governo discute ações de fomento para Arranjos Produtivos Locais de todo o Brasil. **Portal do Ministério da Economia**. 2017a.

BRASIL. Arranjos Produtivos Locais são tema de reunião do governo com o setor privado. **Portal do Ministério da Economia**. 2017b.

BREJÃO, A. S.; VENDRAMETTO, O.; MORAIS, M. O.; COUTO, C. A.; SANTOS, O. S. Reaproveitamento de Água Residuária com Silício da Indústria de Semicondutores na Indústria da Construção Civil : Um Método para Simbiose. **Revista Gestão & Sustentabilidade**, v. 1, n. 1, p. 71–84, 2019. Doi: 10.36661/2596-142X.2019v1i1.8467

BRENOT, A.; CHUFFART, C.; COSTE-MANIÈRE, I.; DEROUCHE, M.; GODAT, E.; LEMOINE, L.; RAMCHANDANI, M.; SETTE, E.; TORNAIRE, C. Water footprint in fashion and luxury industry. **Water in Textiles and Fashion**, p. 95–113, 2019. Doi: 10.1016/B978-0-08-102633-5.00006-3

BURGADA, F.; FAGES, E.; QUILES-CARRILLO, L.; LASCANO, D.; IVORRA-MARTINEZ, J.; ARRIETA, M. P.; FENOLLAR, O. Upgrading Recycled Polypropylene from Textile Wastes in Wood Plastic Composites with Short Hemp Fiber. **Polymers**, v. 13, n. 1248, 2021. Doi: 10.3390/polym13081248.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Relatório de Insumos e Composições – ABR/23. 2023. Disponível em: [https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria\\_653](https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_653). Acesso em: 14 mar. 2023.

CARASEK, H. Argamassas. *In*: ISAIA, G. C (org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2017. 3 ed. ISBN978-85-98576-27-5. p. 863-904.

CARASEK, H., ARAÚJO, R. C.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Materia**, v. 21, n. 3, p. 714–732, 2016. Doi: 10.1590/S1517-707620160003.0068

CARUARU. Lei nº 5.160 de 7 de dezembro de 2011. Altera a Lei 5.058, de 25 de novembro de 2010. **Diário Oficial do Município de Caruaru**, 7 dez. 2011.

CHAREF, R.; EMMITT, S. Uses of building information modelling for overcoming barriers to a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 124854, 2021. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124854

CHENG, X. LI, B.; CHEN, G.; GAO, S. Solidification/Stabilization of Textile Sludge as Subgrade: Usage of Binders and Skeleton Material. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, 2020. Doi: 10.1155/2020/8873098.

CMMAD - Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso Futuro Comum*. 2 ed. Rio de Janeiro: **Fundação Getúlio Vargas**. 1987.

CONAMA – Conselho Nacional de meio Ambiente. Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**, 24 jan. 1986.

CONAMA – Conselho Nacional de meio Ambiente. Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da União**, 19 dez. 1997.

COURA, A. F. A.; CORDEIRO, J.; QUINTÃO, P. L.; SANTOS, C. I. F. Gerenciamento de recursos hídricos em empresas localizadas no Distrito Industrial de Itabira – MG. **Res., Soc. Dev.** Itabira – MG, v. 8, n. 3, p. 1 - 20, 2019. ISSN 2525-3409. Doi: 10.33448/rsd-v8i3.840

COUTO, Á. F.; SCHWANTES-CEZARIO, N.; MORALES, G.; TORALLES, B. M. Efeitos da substituição parcial do agregado miúdo por cinza de madeira de eucalipto nas propriedades

das argamassas. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 5, n. 2, p. 84, 2018. Doi: 10.18256/2358-6508.2018.v5i2.2571

CUNHA, A. L. X. **Reciclagem dos rejeitos da atividade de mariscagem: uso na indústria de blocos pré-moldados de concreto**. 2021. 184p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

DAI-PRÁ, L. B. MORAES, C. A. M.; GOMES, L. P.; MARQUES, V. M. Avaliação de ciclo de vida (ACV) aplicada à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros: uma revisão. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 7, n. 3, p. 353–364, 2018.

DRAEGER, A.; KAUFMANN, V.; LIMA, E. A.; MELO, M. N. V.; SILVA, J. D. Aproveitamento do lodo têxtil na produção de briquetes para geração de energia térmica. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 23, n. 1, p. 46-56, 2021. Doi: 10.7867/1983-1501.2021v23n1p46-56

DUARTE, G. L. B.; SILVA, B. J.; MARTINS, B. H. R.; CASALI, J. M.; BETIOLI, A. M. Influence of river and crushing aggregates composition in self-compacting mortars. **Revista Materia**, v. 27, n. 2, 2022. Doi: 10.1590/S1517-707620220002.1303

ECHEVERRIA, C. A. HANDOKO, W.; PAHLEVANI, F.; SAHAJWALLA, V. Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1524–1536, 2019. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.227.

EL MESSIRY, M.; AYMAN, Y. Investigation of sound transmission loss of natural fiber/rubber crumbs composite panels. **Journal of Industrial Textiles**, v. 51, n. 3\_suppl, p. 5347S-5369S, 2022. Doi: 10.1177/15280837211039574.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**, n. 36, p. 90–100, 1994.

EU – European Union. Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste. **Official Journal of the European Union**, 30 mai. 2018.

FERNANDES, I. V. **Avaliação da pozolanicidade do lodo proveniente de estação de tratamento de efluentes da indústria têxtil para uso como material cimentício suplementar**. 2023, 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

FERREIRA, M. N. **Incorporação de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de lavanderia industrial em cerâmica vermelha**. 2018, 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

FERREIRA, R. L. S.; BARROS, I. M. S.; COSTA, T. C. S.; MEDEIROS, M.; SÁ, M. V. V. A.; CARNEIRO, A. M. P. Effects of the use of beach sand on mixed mortar properties: Analysis of granulometric variation. **Revista Materia**, v. 24, n. 2, 2019. Doi: 10.1590/s1517-707620190002.0681

GEDIF, B.; ATALIE, D. Recycling of 100% Cotton Fabric Waste to Produce Unsaturated Polyester-Based Composite for False Ceiling Board Application. **International Journal of Polymer Science**, v. 2022, 2022. Doi: 10.1155/2022/2710000.

GIORDANI, C.; MASUERO, A. B. Blended mortars: Influence of the constituents and proportioning in the fresh state. **Construction and Building Materials**, v. 210, p. 574-587, 2019. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.077.

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY. **Promotion of circular economy in the textile and garment sector through the sustainable management of chemicals and waste in Ethiopia**. 2020. Disponível em: [https://publicpartnershipdata.azureedge.net/gef/GEFProjectVersions/5cf7776e-105d-e911-a830-000d3a375590\\_PIF.pdf](https://publicpartnershipdata.azureedge.net/gef/GEFProjectVersions/5cf7776e-105d-e911-a830-000d3a375590_PIF.pdf). Acesso em: 22 abr. 2023.

GONÇALVES, C. F.; SOARES, A. F.; PAULA, H. M. Caracterização e viabilidade de utilização de cinzas de biomassa vegetal em argamassa. **Revista ALCONPAT**, v. 11, n. 2, p. 1–16, 2021. Doi: 10.21041/ra.v11i2.484

GOYAL, S.; SIDDIQUE, R.; JHA, S.; SHARMA, D. Utilization of textile sludge in cement mortar and paste. **Construction and Building Materials**, v. 214, p. 169–177, 2019. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.023

GREENPEACE INTERNATIONAL. **Toxic Threads: UnderWraps**. 2012. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/international/publication/7606/toxic-threads-under-wraps/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

GUEDES, B. F. R. **Desenvolvimento de argamassa com incorporação de lodo de indústria têxtil visando a aplicação sustentável na construção civil**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

HEGYI, A.; VERMEŞAN, H.; LĂZĂRESCU, A. V.; PETCU, C.; BULACU, C. Thermal Insulation Mattresses Based on Textile Waste and Recycled Plastic Waste Fibres, Integrating Natural Fibres of Vegetable or Animal Origin. **Materials**, v. 15, n. 4, 2022. Doi: 10.3390/ma15041348.

HENTGES, T. I.; MOTTA, E. A. M.; FANTIN, T. V. L.; MORAES, D.; FRETTE, M. A.; PINTO, M. F.; BOES, J. S. Circular economy in Brazilian construction industry: Current scenario, challenges and opportunities. **Waste Management and Research**, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X211045014>

HO, K. C.; TEOW, Y. H.; SUM, J. Y.; NG, Z. J.; MOHAMMAD, A. W. Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. **Science of the Total Environment**, v. 760, p. 143966, 2021. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143966

HORA, C. P.; CORREIO, R. L. W. A Proteção dos Direitos Ambientais pelo Sistema Internacional dos Direitos Humanos. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v.

3, n. 1, p. 61-77, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9628/2017.v3i1.1902>

HUANG, L.; KRIGSVOLL, G.; JOHANSEN, F.; LIU, Y.; ZHANG, X. Carbon emission of global construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. 6, p. 1906–1916, 2018. Doi: 10.1016/j.rser.2017.06.001

HUSSAIN, A.; GOLJANDIN, D.; PODGURSKY, V.; ABBAS, M. M.; KRASNOU, I. Experimental mechanics analysis of recycled polypropylene-cotton composites for commercial applications. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, 2022. Doi: 10.1016/j.aiepr.2022.11.001.

IEA - Agência Internacional de Energia. **Global Status Report 2017**. 2017. Disponível em: <https://www.worldgbc.org/news-media/global-status-report-2017>. Acesso em: 28 nov. 2021.

ISLAM, S.; EL MESSIRY, M. SIKDAR, P. P.; SEYLAR, J.; BHAT, G. Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from post- consumer recycled denim fabrics. **Journal of Industrial Textiles**, v. 51, n. 4, p. 6001-6027, 2022. Doi: 10.1177/1528083720940746.

JIAN, Z. B.; LI, J.; XING, X. D.; SUN, C. P. Recycling hazardous textile effluent sludge in cement-based construction materials: Physicochemical interactions between sludge and cement. **Journal of Hazardous Materials**, v. 381, p. 121034, 2020. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121034

JOHANSSON, F.; KARLSSON, I.; ROOTZÉN, J.; AHLBÄVK, A.; GUSTAVSSON, M. The framing of a sustainable development goals assessment in decarbonizing the construction industry – Avoiding “Greenwashing”. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 131, n. November 2019, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110029>

JORGE, F. W.; TESSARO, A. B.; SILVA, L. L.; MATHIES, E. L. A.; MATTOS, F. C.; NUNES, J. L. O.; BANDEIRA, J. L. S. Avaliação da incorporação de lodo de ETE como adição mineral em concretos. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 1–11, 2023.

JOSHAGHANI, A.; BALAPOUR, M.; RAMEZANIANPOUR, A. A. Effect of controlled environmental conditions on mechanical, microstructural and durability properties of cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 164, p. 134–149, 2018. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.206

KAMBLE, Z.; BEHERA, B. K. Sustainable hybrid composites reinforced with textile waste for construction and building applications. **Construction and Building Materials**, v. 284, 2021a. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122800

KAMBLE, Z.; BEHERA, B. K. Fabrication and performance evaluation of waste cotton and polyester fiber-reinforced green composites for building and construction applications. **Polymer Composites**, v. 42, n. 6, p. 3025–3037, 2021b. Doi: 10.1002/pc.26036

KASAW, E.; ADANE, Z.; GEBINO, G.; ASSEFA, N.; KECHI, A.; ALEMU, K. Incineration of Textile Sludge for Partial Replacement of Cement in Concrete Production: A Case of Ethiopian Textile Industries. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2021, p. 1–6, 2021. Doi: 10.1155/2021/9984598

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. **Estudos Tecnológicos**, v. 3, n. 1, p. 47–58, 2007.

KHALAF, Y.; EL HAGE, P.; MIHAJLOVA, J. D.; BERGERET, A.; LACROIX, P.; EL HAGE, R. Influence of agricultural fibers size on mechanical and insulating properties of innovative chitosan-based insulators. **Construction and Building Materials**, v. 287, 2021. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123071

KHAN, A.; IFTIKHAR, K.; MOHSIN, M.; AHMAD, J.; SAHAR, N.; ROVERE, M.; TAGLIAFERRO, A. Low temperature synthesis of carbon fibres from post-consumer textile waste and their application to composites: An ecofriendly approach. **Diamond and Related Materials**, v. 130, 2022. Doi: 10.1016/j.diamond.2022.109504

K-SYNTH TEAM. **Bibliometrix**, 2023. Disponível em: <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/bibliometrix>. Acesso em: 02 mar. 2023.

LELOUP, W. A. **Efeito da adição de lodo têxtil e cinzas de lenha gerados no APL de confecções pernambucano em argamassas de cimento Portland**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

LIMA, K. P. B. A.; CUNHA, A. L. X.; BRITO, E. P. C.; GOMES, L. Í. S.; MORAES, A. S.; ARAÚJO, F. W. C.; HOLANDA, R. M. Método alternativo para a determinação da consistência em argamassas de revestimento. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, p. e20512541715, 2023. Doi: 10.33448/rsd-v12i5.41715.

LINHARES, T. CARNEIRO, V. H.; MERILLAS, B.; AMORIM, M. T. P.; DURÃES, L. Textile waste-reinforced cotton-silica aerogel composites for moisture regulation and thermal/acoustic barrier. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 102, n. 3, p. 574–588, 2022. Doi: 10.1007/s10971-022-05808-x

LORENA, E. M. G.; LORENA, C. M. G.; MEDEIROS, R. M.; EL-DEIR, S. G.; HOLANDA, R. M.; ARAÚJO, V. D. Modelo de Gestão de Riscos em Lavanderias de Beneficiamento no Arranjo Produtivo Local (APL) Têxtil e de Confecções de Pernambuco, Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, p. 620–640, 2018. Doi: 10.14488/1676-1901.v18i2.2881

LUO, Y.; LI, Y. Control quantity or toxicity of textile chemicals? A case study of denim jeans in the warp-dyeing phase. **Textile Research Journal**, v. 91, n. 15–16, p. 1900–1906, 2021. Doi: 10.1177/0040517521993488

MACHADO, V. T.; CANDEIA, R. A.; FARIAS, C. A. S.; VIEIRA, A. S., & CUNHA, F. A. P. Gestão Ambiental Adotada em Indústria Têxtil do Sertão da Paraíba. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, p. 267–283, 2019.

MASIERO, P. C. **Introdução à análise de dados**. 2017. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3371051/mod\\_resource/content/1/Aula\\_5\\_Analise\\_Dados\\_ESExp\\_2017.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3371051/mod_resource/content/1/Aula_5_Analise_Dados_ESExp_2017.pdf). Acesso em: 14 mar. 2023.

MATOSKI, A.; OCHOA, W. A. A.; MANTOVANI, R.; SOUZA, M. A. Estudo da influência da adição de carvão mineral e redução de areia em argamassa de revestimento, em sua resistência à compressão e absorção de água por capilaridade. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 11853–11868, 2022. Doi: 10.34117/bjdv8n2-227

MCGINNIS, M. J.; DAVIS, M.; DE LA ROSA, A.; WELDON, B. D.; KURAMA, Y. C. Quantified sustainability of recycled concrete aggregates. **Magazine of Concrete Research**, v. 69, n. 23, p. 1203–1211, 2017. Doi: 10.1680/jmacr.16.00338

MENEGON, E. M. P.; POLI, O. L.; MAZZIONI, S. Inovação na indústria do segmento têxtil: um estudo sobre o perfil da produção científica nacional e internacional. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 4, p. 1093–1115, 2018.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Relatório Técnico 31: Perfil de areia para construção civil**. Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral, 2009. Disponível em: [http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22\\_RT31\\_Perfil\\_de\\_areia\\_para\\_construcao\\_civil.pdf/2e777d92-aa4d-6304-0b41-b74c12e63d93?version=1.0](http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22_RT31_Perfil_de_areia_para_construcao_civil.pdf/2e777d92-aa4d-6304-0b41-b74c12e63d93?version=1.0). Acesso em: 01 dez. 2022.

MOHAMAD, G.; ROMAN, H. R.; RIZZATTI, E.; ROMAGNA, R. *In*: ISAIA, G. C (org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 1 ed. ISBN 978-85-98576-19-0. p. 1007-1036.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

MONTEIRO, P. A. **Diagnóstico do consumo de água nos processos de beneficiamento de jeans no Polo Confeccionista de Divinópolis / MG**. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2018.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, C. A. S.; GUMIERI, A. G.; VASCONCELOS, W. L. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. **Cerâmica**, v.52, p. 193-199, 2006. Doi: 10.1590/S0366-69132006000200012

MOURA, L. S. **Utilização de lodo de tratamento têxtil em revestimentos asfálticos: uma análise mecânica, microscópica e ambiental**. 2021. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

MOURA, L. S.; REIS, A. C. S.; SILVA, C. L.; BEZERRA, J. P. S.; NÓBREGA, A. C. V.; CARNEIRO, A. M. P. Avaliação da adesividade do ligante asfáltico modificado com lodo têxtil por meio do processamento digital de imagens. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e12110413975, 2021, v. 2021, p. 1–10, 2021a.

MOURA, L. S.; SILVA, C. L.; REIS, A. C. S.; Marinho, E. P.; Nóbrega, A. C. V.; CARNEIRO, A. M. P. 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, p. e40910414078, 2021b.

MUTHURAJ, R. LACOSTE, C.; LACROIX, P.; BERGERET, A. Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. **Industrial Crops and Products**, v. 135, n. December 2018, p. 238–245, 2019. Doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.053

MYMRIN, V.; ALEKSEEV, K.; NAGALLI, A.; CATAI, R. E.; IZZO, R. L. S.; ROSE, J. L.; PONTE, H. A.; ROMANO, C. A. Red ceramics enhancement by hazardous laundry watercleaning sludge. **Journal of Cleaner Production**, v. 120, p. 157–163, 2016. Doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.075

NASCIMENTO, I. R. Q. S.; FUCALE, S.; SILVA, A. J. C.; SILVA, A. C.; FERREIRA, S. R. M. Avaliação do comportamento reológico de argamassa de revestimento por meio do ensaio de cisalhamento direto. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e17010111617, 2021. Doi: 10.33448/rsd-v10i1.11617

NEGRINI, J. G.; GURKEWICZ, R. P.; WANDERLIND, A.; SAVI, A. E.; PIVA, J. H.; ANTUNES, E. G. P. Análise da influência da substituição parcial de agregado miúdo natural por resíduos de placas cerâmicas com distintos tratamentos de saturação em argamassas. **Cerâmica industrial**, v. 28, n. 1, p. 1–13, 2023. Doi: 10.4322/cerind.2022.010

OLIVEIRA, J. P. M. **Influência do módulo de finura nas propriedades de argamassas com aditivo incorporador de ar**. 2019, 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

ONU – Organização das Nações Unidas. **CNUNMA – Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21**. Rio de Janeiro: ONU, 1992.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Millennium Development Goals**. Washington: ONU, 2000.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. Washington: ONU, 2015.

PAGOTTO, L. G.; RODRIGUES, J.; HENRIQUE, F. H.; POMPEU JUNIOR, J.; BLUMER, S. Análise de variância e testes de médias: um estudo aplicado em experimentos com variedades de algodoeiro e seleções de citrumelo / Analysis of variance and means tests: a study applied

in experiments with cotton varieties and citrumelo selections. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 3, p. 1287–1296, 2021. Doi: 10.34115/basrv5n3-001.

PATEL, H.; PANDEY, S. Evaluation of physical stability and leachability of Portland Pozzolona Cement (PPC) solidified chemical sludge generated from textile wastewater treatment plants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 207–208, p. 56–64, 2011. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.05.028

PERNAMBUCO. Lei nº 15.241, de 19 de março de 2014. Proíbe o lançamento de efluentes que contenham corantes em rios, lagos, represas e demais corpos d'água do Estado de Pernambuco e determina a classificação dos corantes como contaminantes ambientais. **Diário Oficial do Estado**: 19 mar. 2014. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=10107>. Acesso em: 29 jun. 2021.

PERO, M.; MORETTO, A.; BOTTANI, E.; BIGLIARDI, B. Environmental collaboration for sustainability in the construction industry: An exploratory study in Italy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 1, p. 1–25, 2017. Doi: 10.3390/su9010125

QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L. R. P.; ALVIM, L. B.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Gestão De Resíduos Na Indústria Têxtil E Sua Relação Com a Qualidade Da Água: Estudo De Caso. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, v. 8, n. 15, p. 114–135, 2016.

RAHMAN, M.; RAHMAN, M.; KHAN, M. R.; UDDIN, T.; ISLAM, A. Textile Effluent Treatment Plant Sludge: Characterization and Utilization in Building Materials. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 42, n. 4, p. 1435–1442, 2017. Doi: 10.1007/s13369-016-2298-9

RIBEIRO, A. J. H.; FERREIRA, G. T.; FERREIRA JUNIOR, M. B.; SILVA, M. D. G. Análise das Propriedades da Argamassa com Diferentes Teores de Grafite por Substituição Parcial de Cimento Portland. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e49911629535, 2022. Doi: 10.33448/rsd-v11i6.29535

RIBEIRO, U. G.; SOUZA, C. O.; GRONDONA, A. E. B.; KERN, A. P.; BREHM, F. A. Desempenho mecânico e durabilidade de argamassas contendo adições de resíduos de carvão vegetal amazônico. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 3, 2021. Doi: 10.1590/s1517-707620210003.13015

RIBEIRO, V. A. S.; TAVARES, C. R. G. Análise do reuso de efluente de lavanderia de jeans tratado por fotocatalise heterogênea. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 2, p. 395–404, 2018.

SAIEG, P.; SOTELINO, E.; NASCIMENTO, D.; CAIADO, R. Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 788–806, 2018. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.030.

SADROLODABAE, P.; CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; DE LA FUENTE, A. Mechanical and durability characterization of a new textile waste micro-fiber reinforced cement composite for building applications. **Case Studies in Construction Materials**, v. 14, 2021a. Doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00492

SADROLODABAE, P.; CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; DE LA FUENTE, A. A textile waste fiber-reinforced cement composite: Comparison between short random fiber and textile reinforcement. **Materials**, v. 14, n. 13, 2021b. Doi: 10.3390/ma14133742

SADROLODABAE, P.; CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; DE LA FUENTE, A. Characterization of a textile waste nonwoven fabric reinforced cement composite for non-structural building components. **Construction and Building Materials**, v. 276, 2021c. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122179

SADROLODABAE, P.; CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; DE LA FUENTE, A. Effect of accelerated aging and silica fume addition on the mechanical and microstructural properties of hybrid textile waste-flax fabric-reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 135, p. 104829, 2023. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2022.104829

SAKTHIVEL, S.; SENTHIL KUMAR, S.; MELESE, B.; MEKONNEN, S.; SOLOMON, E.; EDAA, A.; ABEDOM, F.; GEDILU, M. Development of nonwoven composites from recycled cotton/polyester apparel waste materials for sound absorbing and insulating properties. **Applied Acoustics**, v. 180, 2021. Doi: 10.1016/j.apacoust.2021.108126

SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 35–49, 2016. Doi: 10.1590/s1678-86212016000200078.

SANTOS, A. M.; SILVA, Â. J. C.; MOTA, J. M. F. Incremento da cal na aderência de argamassas inorgânicas. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 71281–71306, 2021. Doi: 10.34117/bjdv7n7-349

SANTOS, E. O. **Caracterização, biodegradabilidade e tratabilidade do efluente de uma lavanderia industrial**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SANTOS, M. A.; NOGUEIRA, M. H. P.; SILVA, L. S.; GOMES, L. G. Análise da viabilidade técnica da substituição parcial de cimento Portland por resíduos da indústria do silício para produção de argamassa. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 9, 2019. Doi: 10.18227/rct.v5i9.5400

SANTOS, R. V.; POLESELLO, E. Estudo das propriedades do concreto quando submetido a diferentes tipos de cura. **Conjecturas**, v. 22, n. 15, p. 487–498, 2022. Doi: 10.53660/conj-1888-2p20

SANTOS, V. F. M. **Box Plot: (Diagrama de Caixa) como elaborar e analisar este gráfico?**. 2023. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/blog/como-elaborar-um-box->



STREB, A. P.; GAUER, E. A. Efeitos da substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro em argamassa de revestimento. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 104-115, 2022.

THE R FOUNDATION. **The R Project for Statistical Computing: Getting Started**, 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 2 mar. 2023.

TOKUDOME, N. **Influência da distribuição morfológica das areias nas propriedades reológicas e estado endurecido de argamassa de revestimento aditivada**. 2020. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

TORITAMA. Lei nº 1.643 de 21 de novembro de 2018. Institui o regramento para a regularização do funcionamento, no âmbito municipal, das lavanderias e atividades empresariais correlatas e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Toritama**, 21 nov. 2018. Disponível em: <https://toritama.pe.transparenciamunicipal.online/uploads/5404/1/atos-oficiais/2018/i-classfagaveli-leis/lei.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2021.

TRAN, N. P.; GUNASEKARA, C.; LAW, D. W.; HOUSHYAR, S.; SETUNGE, S. Repurposing of blended fabric waste for sustainable cement-based composite: Mechanical and microstructural performance. **Construction and Building Materials**, v. 362, 2023. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129785

ULLAH, S. M. H. HASAN, M.; AHMAD, S. I.; AHMED, T. Performance of industrial sludge-amended bricks manufactured in conventional kilns. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, n. 6, p. 1932–1942, 2020. Doi: 10.1007/s10163-020-01080-9

VAN DEN BERGH, D.; VAN DOORN, J.; MARSMAN, M.; DRAWS, T.; VAN KESTEREN, E. J.; DERKS, K.; DABLANDER, F.; GRONAU, Q. F.; KUCHARSKÝ, Š.; GUPTA, A. R. K. N.; SARAFLOU, A.; VOELKEL, J. G.; STEFAN, A.; LY, A.; HINNE, M.; MATZKE, D.; WAGENMAKERS, E. J. A tutorial on conducting and interpreting a bayesian ANOVA in JASP. **Annee Psychologique**, v. 120, n. 1, p. 73–96, 2020. Doi: 10.3917/anpsy1.201.0073.

VANZ, S. A. S.; SANTIN, D. M.; PAVÃO, C. M. G. A bibliometria e as novas atribuições profissionais nas bibliotecas universitárias. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 9, n. 1, p. 4, 2018. Doi: 10.11606/issn.2178-2075.v9i1p4-24

VASCONCELLOS-SILVA, P.; ARAUJO-JORGE, T. Análise de conteúdo por meio de nuvem de palavras de postagens em comunidades virtuais: novas perspectivas e resultados preliminares. **Investigação Qualitativa em Saúde**, v. 2, p. 8, 2019.

VASCONCELOS, G. A. **Secagem de lodo de efluentes da Indústria Têxtil utilizando leito de secagem acoplado a trocador de calor solar**. 2020. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

VELUMANI, P.; SENTHILKUMAR, S. Production of sludge-incorporated paver blocks for efficient waste management. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 68, n. 6, p. 626–636, 2018. Doi: 10.1080/10962247.2017.1395373

VENTURA, H.; ÁLVAREZ, M. D.; GONZALEZ-LOPEZ, L.; CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M. Cement composite plates reinforced with nonwoven fabrics from technical textile waste fibres: Mechanical and environmental assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 372, 2022. Doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133652

VIANA, M. A. **Avaliação da Eficiência de Estação de Tratamento de Efluente de Lavanderia de Beneficiamento de Jeans no Arranjo Produtivo Local Têxtil do Agreste Pernambucano - Um Estudo de Caso**. 2019. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

VIANA, M. A.; LIRA, E. B. S.; COELHO, C. P. G.; BEZERRA, E. M. G.; HOLANDA, R. M. Water footprint of the jeans processing industry in the Agreste of Pernambuco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 03, n. 01, p. 61–68, 2018. Doi: 10.24221/jeap.3.1.2018.1723.061-068.

WONDMAGEGNEHU, B. T.; PARAMASIVAM, V.; SELVARAJ, S. K. Fabricated and analyzed the mechanical properties of textile waste/glass fiber hybrid composite material. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 7297-7303, 2021a. Doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.984

WONDMAGEGNEHU, B. T.; PARAMASIVAM, V.; SELVARAJ, S. K. Micro hardness and optical microscopy analysis of textile waste / glass fiber hybrid composite material. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 7322–7328, 2021. Doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.993

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology**, 2016. World Economic Forum, Suíça. Disponível em: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Shaping\\_the\\_Future\\_of\\_Construction\\_report\\_020516.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_report_020516.pdf).

YALCIN-ENIS, I. Evaluation of recycled textile wastes with E-glass fabric in bio-based epoxy matrix composites: investigation of the mechanical properties. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, 2022. Doi: 10.1007/s10163-022-01522-6

YAN, S.; SAGOE-CRENTSIL, K.; SHAPIRO, G. Reuse of de-inking sludge from wastepaper recycling in cement mortar products. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 8, p. 2085–2090, 2011. Doi: 10.1016/j.jenvman.2011.03.028

YANG, X.; FAN, W.; WANG, H. SHI, Y.; WANG, S.; LIEW, R. K.; GE, S. Recycling of bast textile wastes into high value-added products: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, p. 3747–3763, 2022. Doi: 10.1007/s10311-022-01484-z.

YOUSEF, S.; KALPOKAITĖ-DIČKUVIENĖ, R.; BALTUŠNIKAS, A.; PITAK, I.; LUKOŠIŪTĖ, S. I. A new strategy for functionalization of char derived from pyrolysis of textile waste and its application as hybrid fillers (CNTs/char and graphene/char) in cement industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 314, 10 set. 2021.

ZAGONEL, J. T.; BUSS, M. V.; MENEZES, J. C. S. Estudo sobre a influência do lodo têxtil gerado por uma lavanderia industrial, aplicado em argamassa de cimento Portland composto de fíler. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, p. 5–14, 2015.

ZHAN, B. J.; POON, C. S. Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 101, p. 174–179, 2015. Doi: 10.1016/j.jclepro.2015.03.083

ZHAO, C.; ZHOU, J.; YAN, Y.; YANG, L.; XING, G.; LI, H.; WU, P. WANG, M.; ZHENG, H. Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. **Science of the Total Environment**, v. 765, p. 142795, 2021. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142795.