

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA - PROACAD
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS - PPGCEM
MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

ELEN MACHADO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE APARAS DE TECIDOS DA
INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Michael Peterson

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Gonçalves Dal-Bó

**CRICIÚMA
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

O48e Oliveira, Elen Machado de.

Estudo da incorporação de aparas de tecidos da indústria de confecção em argamassas de revestimento / Elen Machado de Oliveira. - 2020. 141 p. : il. ; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2020.

Orientação: Michael Peterson.

Coorientação: Alexandre Gonçalves Dal-Bó.

1. Argamassa de revestimento. 2. Argamassa reforçada com fibra. 3. Resíduos têxteis - Reaproveitamento. 4. Isolamento térmico. I. Título.

CDD. 22. ed. 620.135

Elen Machado de Oliveira

Estudo da incorporação de aparas de tecidos da indústria de confecção em argamassas de revestimento.

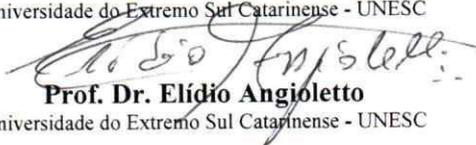
Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre (a) em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 19 de fevereiro de 2020.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Elídio Angioletto
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC

Prof. Dr. Fernando Pelisser
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC



Documento assinado digitalmente.

Fernando Pelisser
Data: 21/10/2020 10:53:32-0300
CPF: 891.548.350-70

Aqueles que são minha fortaleza,
meus pais e minhas irmãs.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida e por não me deixar desistir diante das dificuldades.

Aos meus pais, Antônio de Oliveira e Maria Helena Machado de Oliveira, e às minhas irmãs, Elis Machado de Oliveira e Camila Machado de Oliveira, pelo apoio, carinho e amor.

Ao meu orientador, Michael Peterson, e coorientador, Alexandre Gonçalves Dal-Bó, por todo o auxílio prestado no desenvolvimento da pesquisa.

À empresa Confeções Vanelise de Nova Veneza/SC, por fornecer as aparas de tecido avaliadas neste trabalho.

À Madeireira Capivaras, por confeccionar as formas para a fabricação das placas de argamassas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPGCEM/UNESC, pelos conhecimentos compartilhados, e à Vivian, secretária do programa, pelos esclarecimentos acerca do regimento do Programa.

Aos laboratórios do Instituto de Engenharia e Tecnologia IDT/UNESC e seus funcionários e pesquisadores que colaboraram com os ensaios e caracterizações, especialmente ao Laboratório de Valoração de Resíduos (LabValora) e ao Laboratório de Reatores e Processos Industriais (LabRePI).

Aos colegas de pós-graduação, pela convivência e amizade.

Ao PROSUC - CAPES, Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Superior da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, e a FAPESC, Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, pelo auxílio financeiro.

À UNESC e sua equipe de profissionais que forneceram todos os recursos e estrutura para o desenvolvimento do trabalho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

A indústria têxtil e de confecção é uma das cadeias mais preocupantes pelos impactos ambientais que estão envolvidos na fabricação das peças. Com o crescimento populacional, aumentou a geração de resíduos, sendo que no Brasil somente 20% são reutilizados. A construção civil é uma das áreas que frequentemente busca alternativas para o uso de resíduos como forma de valorizá-los e, em alguns casos, de melhorar as propriedades e o desempenho das edificações. Com base nisso, produziram-se argamassas de revestimento com a incorporação de aparas de tecido, avaliando-as como forma de reforço e como material para isolamento térmico. Para isso, o resíduo foi desfido manualmente para se assemelhar às fibras existentes no mercado, e foi caracterizado quanto à composição (tipo de tecido) e resistência mecânica. Nas argamassas, realizaram-se ensaios físicos e mecânicos. A melhor composição elencada pela análise estatística do planejamento experimental foi avaliada em ensaios térmicos a 40 e 60 °C, sendo comparada com a amostra de referência. As análises demonstraram que o resíduo é composto por celulose, com propriedades compatíveis tanto com algodão, quanto com viscose. Quando introduzido nas argamassas, elevou a relação água/aglomerante para um mesmo índice de consistência. Em relação à referência, com exceção da aderência à tração, as resistências mecânicas das argamassas com os fios do tecido foram inferiores, mas atenderam ao mínimo estabelecido em norma para a compressão e tração na flexão. Essa redução está associada à quantidade de água adicionada à mistura. No ensaio de aderência, todas as argamassas com resíduo aderiram ao substrato e somente uma composição (2% de fios com 1 cm de comprimento) não atingiu a resistência de 0,30 MPa, valor mínimo exigido em norma. Nos ensaios térmicos a 60 °C, a composição com o teor de resíduo de 3% em comprimentos de 3 cm apresentou um desempenho satisfatório, pois a temperatura da superfície da placa em contato com o interior da estufa foi aproximadamente 12 °C menor que a da referência. Essa característica contribui com a durabilidade das estruturas, pois reduz os processos de dilatação e contração e, conseqüentemente, o surgimento de fissuras.

Palavras-chave: Argamassas de revestimento. Resíduo têxtil. Material de reforço. Isolamento térmico. Durabilidade.

ABSTRACT

The textile and clothing industry is one of the most worrying chains due to the environmental impacts that are involved in the manufacture of garments. With population growth, waste generation increased and in Brazil, only 20% are reused. The civil construction is one of the areas that often seeks alternatives to the use of waste as a way to value it and, in some cases, to improve the properties and performance of buildings. Based on this, coating mortars were produced by the incorporation of fabric shavings, evaluating them as reinforcement and as a material for thermal insulation. For this purpose, the waste was shredded manually to resemble the existing fibers on the market, and was characterized by the composition (fabric type) and mechanical strength. In mortars, physical and mechanical tests were performed. The best composition listed by the statistical analysis of the experimental design was evaluated in thermal tests at 40 and 60 °C and compared with the reference sample. The analyzes showed that the waste is composed of cellulose, with properties compatible with both cotton and viscose. When introduced into mortars, it increased the water / binder ratio to maintain the same consistency index. Compared to the reference, except for tensile adhesion, the mechanical strengths of the mortars with the fabric yarns were lower, but responded to the minimum standard established for the compressive strength and flexural tensile strength. This reduction is associated with the amount of water added to the mixture. In the adhesion test, all mortars with waste adhered to the substrate and only one composition (2% of 1 cm long yarns) did not reach the resistance of 0.30 MPa, minimum value required by the standard. In the thermal tests at 60 °C, the composition with the waste content of 3% in 3 cm lengths had a satisfactory performance because the surface temperature of the plate in contact with the interior of the oven was approximately 12 °C lower than the reference. This characteristic contributes to the durability of the structures, as it reduces the expansion and contraction processes and, consequently, the appearance of fissures.

Keywords: Coating mortars. Textile waste. Reinforcement material. Thermal insulation. Durability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da cadeia produtiva têxtil (em verde) e de confecções (em azul).....	30
Figura 2 - Diferentes alternativas de revestimento (a) emboço + reboco + pintura e (b) camada única + pintura.....	33
Figura 3 - Temperatura máxima média em janeiro de 2019.....	38
Figura 4 - Modelo de alvenaria dupla.	40
Figura 5 - Fluxograma com as principais etapas do procedimento experimental.	41
Figura 6 - Aparas de tecido.	42
Figura 7 - Aparas de tecido (a) na forma de fios longos e (b) cortados em comprimentos específicos.	43
Figura 8 - Fluxograma com as caracterizações das matérias-primas. ...	44
Figura 9 - Fluxograma com os ensaios das argamassas de revestimento.	50
Figura 10 - Ensaio de resistência de aderência à tração. (a) Aplicação da argamassa, (b) corte, (c) colagem da pastilha e (d) ensaio.	52
Figura 11 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco.	53
Figura 12 - Montagem do ensaio para avaliar a capacidade de isolamento da argamassa.	56
Figura 13 - Imagem microscópica do fio (escala vermelha em milímetros).	57
Figura 14 - Difratogramas de raios X dos (a) fios utilizáveis/escuros, (b) fios descartados/claros, (c) do tecido e (d) porta amostra. Onde 1 - celulose.....	59
Figura 15 - FTIR/ATR dos fios do tecido utilizáveis (em preto) e descartados (em azul).	60
Figura 16 - Difratograma de raios X do cimento. Onde 1 - calcita, 2 - silicato de alumínio, magnésio e cálcio e 3 - quartzo.....	62
Figura 17 - Difratograma de raios X da cal hidráulica. Onde 1 - quartzo, 2 - periclásio, 3 - portlandita, 4 - calcita, 5 - silicato de alumínio e potássio hidratado e 6 - dolomita.	63
Figura 18 - Índice de vazios dos experimentos.	66
Figura 19 - Superfície de resposta para o índice de vazios.	68
Figura 20 - Massa específica dos experimentos.	69
Figura 21 - Superfície de resposta para a massa específica.....	70
Figura 22 - Absorção de água por capilaridade aos 90 minutos dos experimentos.	72

Figura 23 - Superfície de resposta para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos.....	73
Figura 24 - Resistências à tração na flexão aos 28 dias, à compressão aos 28 dias e à tração por compressão diametral dos experimentos.	75
Figura 25 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão aos 28 dias.....	77
Figura 26 - Superfície de resposta para a resistência à compressão aos 28 dias.....	79
Figura 27 - Superfície de resposta para a resistência à tração por compressão diametral.....	81
Figura 28 - Resistência de aderência à tração dos experimentos.	82
Figura 29 - Ruptura das argamassas no ensaio de resistência de aderência à tração.....	83
Figura 30 - Superfície de resposta para a resistência de aderência à tração.....	85
Figura 31 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias e após exposição às intempéries por 150 dias.....	87
Figura 32 - Resistência à compressão aos 28 dias e após exposição às intempéries por 150 dias.....	90
Figura 33 - Resultados do ensaio térmico para a placa de referência a 40 °C.....	93
Figura 34 - Resultados do ensaio térmico para a placa com fios do tecido a 40 °C.....	94
Figura 35 - Fotos termográficas das placas a 40 °C.	95
Figura 36 - Resultados do ensaio térmico para a placa de referência a 60 °C.....	96
Figura 37 - Resultados do ensaio térmico para a placa com fios do tecido a 60 °C.....	97
Figura 38 - Fotos termográficas das placas a 60 °C.	98
Figura 39 - Imagens microscópicas mostrando a porosidade, destacada em vermelho, da (a) referência e do (b) experimento 9.	102
Figura 40 - Corpos de prova após o ensaio de resistência à compressão. (a) Referência e (b) experimento 9.....	103
Figura 41 - Imagens microscópicas mostrando a fissuração da amostra de (a) referência e do (b) experimento 9.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.	32
Tabela 2 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).	46
Tabela 3 - Matriz de dados do planejamento fatorial 3^2	48
Tabela 4 - Resistência à tração dos fios.	58
Tabela 5 - Massa específica de fibras têxteis.	58
Tabela 6 - Distribuição da composição granulométrica da areia.	64
Tabela 7 - Tolerância de frações granulométricas.	64
Tabela 8 - Índice de consistência das misturas.	65
Tabela 9 - Índice de vazios (I_v) e massa específica (ρ_s) dos experimentos.	66
Tabela 10 - Análise de variância ANOVA para o índice de vazios.	67
Tabela 11 - Análise de variância ANOVA para a massa específica.	70
Tabela 12 - Absorção de água por capilaridade (A_{10} e A_{90}) e coeficiente de capilaridade (C) dos experimentos.	71
Tabela 13 - Análise de variância ANOVA para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos.	73
Tabela 14 - Resistência à tração na flexão (R_f) dos experimentos aos 28 dias.	76
Tabela 15 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão aos 28 dias.	76
Tabela 16 - Resistência à compressão (R_c) dos experimentos aos 28 dias.	78
Tabela 17 - Análise de variância ANOVA para a resistência à compressão aos 28 dias.	78
Tabela 18 - Resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$) dos experimentos.	80
Tabela 19 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração por compressão diametral.	80
Tabela 20 - Resistência de aderência à tração (R_a) dos experimentos. .	82
Tabela 21 - Análise de variância ANOVA para a resistência de aderência à tração.	84
Tabela 22 - Resistência à tração na flexão (R_f) dos experimentos após 150 dias de exposição às intempéries.	86
Tabela 23 - Teste F: duas amostras para variâncias (resistência à tração na flexão).	87
Tabela 24 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes (resistência à tração na flexão).	88

Tabela 25 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias não equivalentes (resistência à tração na flexão).....	88
Tabela 26 - Resistência à compressão (R_c) dos experimentos após 150 dias de exposição às intempéries.	89
Tabela 27 - Teste F: duas amostras para variâncias (resistência à compressão).....	90
Tabela 28 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes (resistência à compressão).	91
Tabela 29 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias não equivalentes (resistência à compressão).....	91
Tabela 30 - Teste F: duas amostras para variâncias.....	100
Tabela 31 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes.	101
Tabela 32 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias não equivalentes.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATR	Reflectância total atenuada
CECAM	Laboratório de Caracterização de Materiais
CerTec	Laboratório de Cerâmica Técnica
CP	Cimento Portland
DRX	Difratômetro de raios X
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
FTIR	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDT	Instituto de Engenharia e Tecnologia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LabValora	Laboratório de Valoração de Resíduos
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
NBR	Norma Brasileira
Sinditêxtil	Sindicato das Indústrias de Fiação e Tecelagem do Estado de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Absorção de água
A_{cp}	Área do corpo de prova
A_{st}	Área transversal da fibra (fio) no plano da fratura
A_t	Absorção de água por capilaridade para cada tempo
C	Coefficiente de capilaridade
d	Massa específica do agregado
d_i	Diâmetro do corpo de prova
F	Força máxima obtida no ensaio
F_c	Carga máxima aplicada
$f_{ct,sp}$	Resistência à tração por compressão diametral
F_f	Força para falha
F_r	Força de ruptura
F_v	Carga aplicada verticalmente no centro do prisma
I_v	Índice de vazios
l	Comprimento do corpo de prova
L	Distância entre os suportes
m	Massa da amostra seca em estufa
m_0	Massa inicial do corpo de prova
m_1	Massa do conjunto frasco e agregado
m_{10}	Massa do corpo de prova aos 10 minutos
m_2	Massa total frasco, agregado e água
m_{90}	Massa do corpo de prova aos 90 minutos
m_{ar}	Massa do recipiente mais o agregado
m_i	Massa da amostra saturada imersa em água após fervura
m_r	Massa do recipiente vazio
m_s	Massa da amostra na condição saturada superfície seca
m_{sat}	Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura
m_t	Massa do corpo de prova para cada tempo
Ra	Resistência de aderência à tração
R_c	Resistência à compressão
R_f	Resistência à tração na flexão
V	Volume do frasco/recipiente
V_a	Volume de água adicionada ao frasco
ρ_a	Massa específica da água
ρ_{ap}	Massa unitária do agregado
ρ_s	Massa específica da amostra seca
σ_t	Resistência à tração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 OBJETIVOS	27
2.1 OBJETIVO GERAL	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO.....	29
3.1.1 Processo produtivo	29
3.1.2 Geração de resíduos	30
3.2 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	31
3.2.1 Capacidade de aderência	34
3.2.2 Resistência mecânica	34
3.2.3 Capacidade de absorver deformações	35
3.2.4 Estanteidade	35
3.2.5 Durabilidade	35
3.3 ARGAMASSA REFORÇADA COM FIBRA	36
3.4 ISOLAMENTO TÉRMICO NAS EDIFICAÇÕES	37
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	41
4.1 MATERIAIS	41
4.2 MÉTODOS	42
4.2.1 Preparação dos materiais	42
4.2.2 Caracterização dos materiais	43
4.2.3 Dosagem das argamassas	48
4.2.4 Elaboração das misturas	49
4.2.5 Moldagem dos corpos de prova	49
4.2.6 Ensaios	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	57
5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	65
5.2.1 Avaliação da durabilidade	85
5.2.2 Ensaio térmico	92
5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	99
6 CONCLUSÃO	105
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
REFERÊNCIAS	109
APÊNDICES	121
APÊNDICE A – Tabela de índice de vazios e massa específica das amostras	122
APÊNDICE B – Tabela de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade das amostras	125

APÊNDICE C – Tabela de resistência à tração na flexão das amostras aos 28 dias.....	128
APÊNDICE D – Tabela de resistência à compressão das amostras aos 28 dias	130
APÊNDICE E – Tabela de resistência à tração por compressão diametral das amostras.....	133
APÊNDICE F – Tabela de resistência de aderência à tração das amostras.....	135
APÊNDICE G – Tabela de resistência à tração na flexão das amostras após 150 dias de exposição às intempéries.....	137
APÊNDICE H – Tabela de resistência à compressão das amostras após 150 dias de exposição às intempéries	139

1 INTRODUÇÃO

A população mundial cresce exponencialmente, em 1800 havia 1 bilhão de habitantes, atualmente soma mais de 7 bilhões e a previsão é que esse número atinja 11 bilhões no próximo século. Partindo de um consumo per capita de vestuário e têxtil de 7 quilos ao ano, são mais de 49 bilhões de quilos de produtos (NIMKAR, 2018).

A indústria têxtil e de vestuário é uma das cadeias globais mais preocupantes (KÖKSAL et al., 2017). Os impactos ambientais estão presentes em todas as etapas do ciclo de vida das peças, destacando o alto consumo de água, energia, produtos químicos e a geração de resíduos perigosos (CHAPMAN, 2010; WRAP, 2017).

Com o aumento do interesse das pessoas pela moda, cresceu também a produção e, conseqüentemente, a geração de resíduos pós-industriais, mais de centenas de toneladas diárias, principalmente nos países em desenvolvimento, onde está localizada a grande maioria das fábricas. Essa questão se torna ainda mais expressiva pela falta de gerenciamento e sistemas adequados para o tratamento desses resíduos que, quando aterrados, podem contaminar os lençóis freáticos e contribuir para a formação dos gases do efeito estufa (DISSANAYAKE et al., 2018).

Elaborar soluções para transformar os resíduos industriais em recursos é uma das formas de valorizá-los, estimular os princípios sociais em relação ao desenvolvimento sustentável e respeito ao meio ambiente (JUNCO et al., 2018).

A construção civil é um dos setores que mais consegue absorver essa grande quantidade de resíduos sólidos, principalmente nos componentes das edificações. A incorporação de materiais reciclados não está apenas relacionada às questões ambientais, mas, em algumas situações, pode melhorar determinadas propriedades do produto final, com uma boa relação custo/benefício (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014).

Com as pesquisas realizadas para elevar a durabilidade das construções, cresce a utilização de compósitos reforçados com fibras (ORBAN et al., 2018; BORINAGA-TREVIÑO et al., 2018). Nas argamassas cimentícias, as fibras são amplamente empregadas, pois a tenacidade à fratura aumenta com a quantidade inserida (FANTILLI; SICARDI; DOTTI, 2017).

As fibras estudadas em aplicações na engenharia civil podem ser fabricadas em uma gama de materiais (TREJBAL, 2018), evidenciando-se as fibras de polímero, como as de polietileno (YU et al., 2018), as de

origem inorgânica, como as de vidro (RODIN et al., 2018) e de carbono (IRSHIDAT; AL-SHANNAQ, 2018), e as de aço (SENGUL, 2018).

Como a argamassa de revestimento é aplicada com espessura muito fina, entre 20 e 30 milímetros, sua capacidade de isolamento é relativamente pequena e insuficiente, principalmente quando os poros são preenchidos pela água da chuva, aumentando sua condutividade térmica (GOVAERTS et al., 2018).

Por isso, outro ponto importante, além de buscar alternativas para a reciclagem de subprodutos industriais e de pós-consumo, é produzir materiais termicamente isolantes, com a finalidade de diminuir o consumo de energia nas edificações (CORINALDESI; MAZZOLI; SIDDIQUE, 2016).

O estudo do desempenho de tecidos residuais como isolantes térmicos na construção civil é baseado na função que exercem quando utilizados nas roupas, que é proteger o corpo humano das mudanças de temperatura, mantendo o conforto térmico pela transferência adequada de calor entre o ambiente externo e a pele (BRIGA-SÁ et al., 2013).

El Wazna et al. (2017) e Tilioua, Libessart e Lassue (2018) obtiveram resultados positivos ao avaliarem o uso de resíduos têxteis para isolamento térmico. O material mostrou eficiência superior à de outros disponíveis no mercado, como a lã de vidro, lã mineral e o poliestireno expandido extrudado.

Baseado neste contexto, avaliou-se a incorporação de aparas de tecido da indústria de confecção como material de reforço na produção de argamassa de revestimento, sua influência no isolamento térmico em fachadas e a durabilidade do produto final.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o reaproveitamento de aparas de tecido como material de reforço e de isolamento térmico em argamassas de revestimento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Processar as aparas de tecido para adquirirem a forma de fios com características semelhantes às de fibras comerciais;
- Caracterizar o resíduo quanto às propriedades físicas, químicas e mecânicas a fim de identificar sua composição e resistência;
- Avaliar o desempenho mecânico e a durabilidade das argamassas com diferentes teores de incorporação visando a sua utilização como revestimento;
- Submeter as argamassas de revestimento a ensaios envolvendo temperatura para analisar a influência do resíduo na sua capacidade de isolamento térmico.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO

A indústria têxtil e de confecção surgiu da necessidade humana de vestuário. Presente em todos os países, tem muita influência na economia, incluindo a brasileira, por gerar empregos, ter grande volume de produção e ser crescente o número de exportações (FUJITA; JORENTE, 2015).

Com grande relevância no cenário mundial, o Brasil tem a quinta maior indústria têxtil do mundo, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (2017). Em 2017, o país possuía 27.500 empresas formais e uma produção média de 1,3 milhão de toneladas e 8,9 bilhões de peças. Com 1,5 milhão de trabalhadores de forma direta e mais de 8 milhões quando contabilizados os indiretos, representa 16,7% dos empregos e 5,7% do faturamento, sendo a segunda maior empregadora da indústria de transformação (ABIT, 2018).

Santa Catarina tem grande representatividade nacional no setor, com 20,04% na parte têxtil e 22,27% no vestuário. A região sul se destaca no segmento de confecções, juntamente com a do Vale do Itajaí e norte, contribuindo para que o estado seja o segundo polo têxtil e de vestuário do Brasil (FIESC, 2014).

3.1.1 Processo produtivo

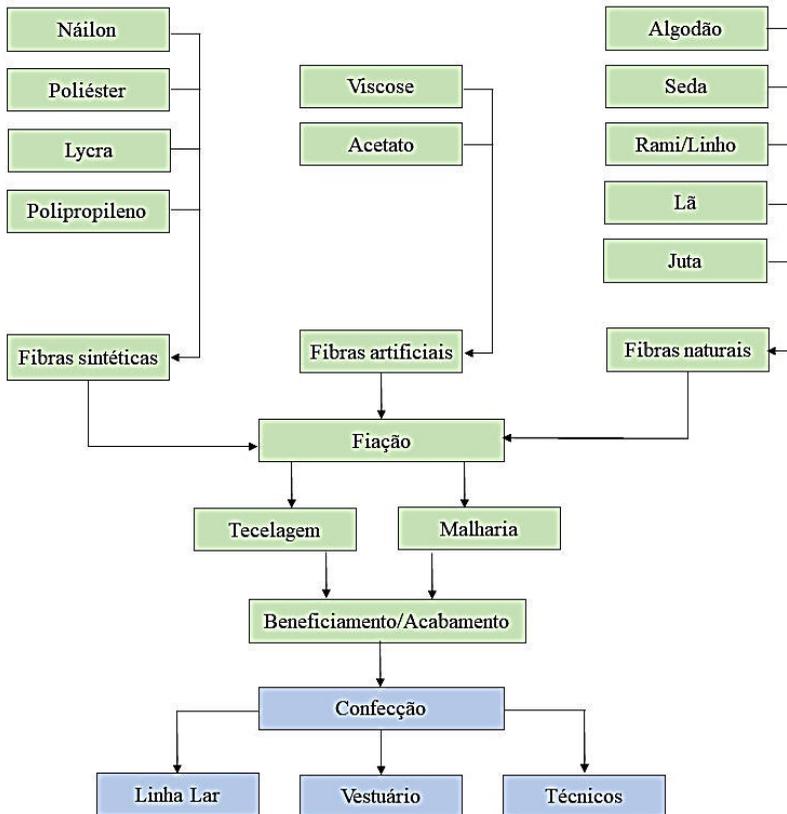
A cadeia produtiva dos setores têxteis e de confecção abrange desde a fabricação das fibras até o produto final, como demonstra a Figura 1.

A área têxtil compreende as etapas de fiação (fios), tecelagem e malharia (tecidos) e o beneficiamento (tinturaria, estamparia, lavanderia, etc.). As matérias-primas utilizadas são compostas de fibras naturais, principalmente o algodão e o linho, fibras sintéticas derivadas do petróleo e as fibras artificiais, com origem de orgânicos naturais, como viscose e acetato vindos da celulose. Já a parte de confecção está relacionada com a produção de vestuário, acessórios, artefatos de cama, banho e de cozinha (MENDES JUNIOR, 2017).

O processo produtivo tem início com a transformação das fibras e filamentos em fios nas fábricas de fiação. Em seguida, são encaminhados para a tecelagem plana ou para a malharia, posteriormente para o acabamento e então para a etapa de confecção, onde mesmo com a automação dos processos no corte, estamparia,

bordado, aplique e costura, o trabalho manual ainda é muito expressivo. O produto final de cada etapa é o insumo principal da fase seguinte (MENDES JUNIOR, 2017).

Figura 1 - Estrutura da cadeia produtiva têxtil (em verde) e de confecções (em azul).



Fonte: Adaptado de Costa e Rocha, 2009.

3.1.2 Geração de resíduos

Os resíduos têxteis, de acordo com sua origem, podem ser classificados em duas categorias: os advindos do período de fabricação são considerados como “resíduos limpos”, pois os tecidos ainda não foram utilizados no momento do descarte; e os oriundos do pós-consumo, também conhecidos como resíduos domésticos, se referem às

peças de vestuário que foram refugadas pelo usuário (DISSANAYAKE et al., 2018).

Nos países desenvolvidos, por conta do mercado de consumo, da cadeia produtiva e de fornecimento, a produção de vestuário é terceirizada, implicando na geração maior de resíduo pós-consumo, enquanto os demais países produzem maiores quantidades pós-industriais (TOMOVSKA et al., 2016).

Na produção de vestuário, são geradas grandes quantidades de resíduos resultantes principalmente da etapa de corte nas confecções. A falta de qualificação de mão de obra afeta diretamente esse desperdício, que pode ser racionalizado por um estudo prévio do encaixe da modelagem. Esses resíduos são descartados em lixões e aterros sem qualquer tipo de controle, sendo alguns incinerados, processo altamente poluidor (MENEGUCCI et al., 2015).

No Brasil, são geradas 175.000 toneladas por ano de resíduos dessa etapa do processo, segundo o Sindicato das Indústrias de Fiação e Tecelagem do Estado de São Paulo ([s.d.]), e apenas 36.000, equivalente a 20%, são reutilizados para produzir mantas, barbantes, novas peças de roupa e fios (FERREIRA et al., 2015). Os demais são encaminhados para aterros sanitários ou são descartados de forma incorreta (ZONATTI et al., 2015).

Zonatti et al. (2015) ressaltam que o mercado nacional que trabalha com a reciclagem e o reuso dos resíduos têxteis prefere importar esses materiais a reaproveitá-los por conta dos problemas oriundos do mau gerenciamento, como as sujeiras e manchas, a mistura de diversas matérias-primas que dificulta a separação, a ausência de incentivo fiscal e tributário, falta de mão de obra especializada e qualificada e, principalmente, a carência de pesquisas e referências bibliográficas que disseminem o conhecimento dessa área.

Esses aspectos também estão relacionados com os artigos do pós-consumo, acrescentando a falta de informações referentes aos volumes depositados em aterros e um estudo sobre a logística reversa para esse caso (ZONATTI et al., 2015).

3.2 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

A argamassa é um material muito empregado na construção civil, constituída por aglomerantes (cimento e/ou cal), agregado miúdo (areia) e água, e ainda podem ser incorporados aditivos para melhorar determinadas propriedades do conjunto (RAO; PARAMESHWARAN; RAM, 2018).

Para Carasek (2007), as argamassas podem ser classificadas por diferentes critérios, dentre eles a função que exercem na construção (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alvenaria de vedação
Para revestimentos de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
Para revestimento de pisos	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
	Argamassa de contrapiso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de alta resistência para piso
	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

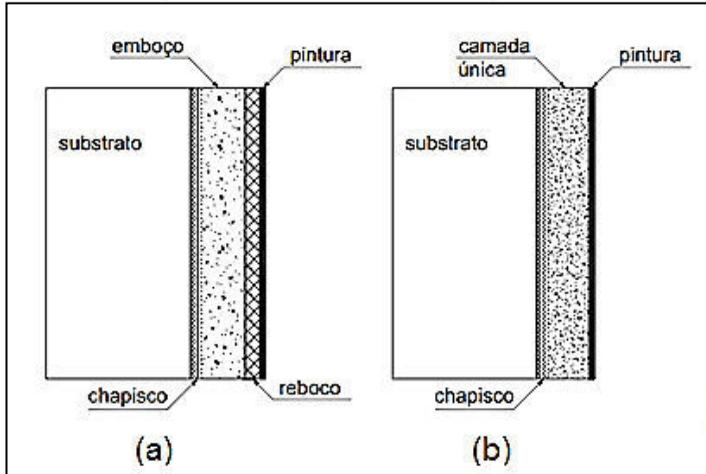
Fonte: Carasek, 2007.

A argamassa de revestimento é a proteção de uma superfície, podendo ter uma ou mais camadas e deve ser aplicada com uma espessura uniforme. Existem três tipos de argamassas: à base de cal, à base de cimento e mistas de cal e cimento, de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) [s.d.].

Suas principais funções são proteger a base, geralmente a alvenaria e estrutura, da ação de agentes agressivos e intemperismo; proporcionar um acabamento final adequado para a aplicação de outros revestimentos decorativos, devido à regularização dos elementos de vedação; e compor o sistema de vedação das edificações, podendo contribuir em 30% no isolamento térmico, 50% no isolamento acústico, 70 a 100% na estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência a abalos na superfície e ao desgaste (CARASEK, 2007).

O revestimento pode ser formado por diversas camadas (Figura 2) que apresentam proporções de materiais, funções e características distintas, segundo a ABNT NBR 13529 (2013).

Figura 2 - Diferentes alternativas de revestimento (a) emboço + reboco + pintura e (b) camada única + pintura.



Fonte: Carasek, 2007.

- O chapisco é a camada de preparo da base, tendo como função regularizá-la e aumentar a aderência do revestimento;
- O emboço é realizado para uniformizar e cobrir o substrato ou o chapisco, para que possa ser aplicada a camada de reboco, um revestimento decorativo ou ainda já é o acabamento final;
- A camada de reboco é executada sobre o emboço, podendo ser o acabamento final ou ser revestida com elemento decorativo;
- O revestimento de camada única é formado por um só tipo de argamassa, exceto o chapisco, em uma ou mais demãos em cima da base (ABNT NBR 13529, 2013).

Para que as argamassas de revestimento tenham um desempenho satisfatório, devem apresentar propriedades e características coerentes com as condições de exposição, substrato em que serão aplicadas, condições de execução, acabamento final e exigências de resistência e durabilidade (ABCP, [s.d.]).

3.2.1 Capacidade de aderência

Aderência é a propriedade que permite ao revestimento suportar as tensões normais e tangenciais presentes na interface com a base por meio da ancoragem da pasta nos poros do suporte, onde a água que contém os aglomerantes é absorvida pela base em que acontece o seu endurecimento, e também de maneira mecânica, por conta das saliências e concavidades da superfície a ser revestida (CARASEK, 2007).

Para que se tenha o maior contato possível entre a argamassa e a base, principal fator que afeta a aderência:

- A mistura deve apresentar trabalhabilidade adequada para que ocorra melhor espalhamento durante a aplicação;
- Os poros da base devem proporcionar rugosidade superficial para que se tenha absorção e
- O substrato deve ser limpo, pois a presença de partículas soltas, poeira, fungos, eflorescências e desmoldantes impedem a aderência (ABCP, [s.d.]).

Paes et al. (2014) verificaram que o tipo de substrato influencia de forma significativa na aderência de argamassas. Ao avaliarem dois tipos de substratos, em blocos de cerâmica, essa propriedade apresentou uma média de 0,17 MPa, enquanto em blocos de concreto chegou a 0,36 MPa.

3.2.2 Resistência mecânica

A resistência mecânica está associada à capacidade dos revestimentos de terem um estado de consolidação interna que é capaz de suportar esforços mecânicos como tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. Esforços como movimentação higroscópica, desgaste superficial e impactos originam tensões internas que podem levar à desagregação da argamassa, exigindo maiores valores de resistência mecânica (CARASEK, 2007).

Um dos grandes problemas relacionados à argamassa é a sua pequena resistência superficial, que prejudica a fixação das camadas de acabamento, como a pintura e peças cerâmicas (CARASEK, 2007).

3.2.3 Capacidade de absorver deformações

A capacidade de absorver deformações intrínsecas (revestimento argamassado) e extrínsecas (base) é delimitada pela resistência à tração e pelo módulo de deformação (CARASEK, 2007). Argamassas com menos água em sua composição apresentam retração reduzida, pois a perda por evaporação e por sucção da base é menor, evitando tensões internas de tração que podem ocasionar fissuração (ABCP, [s.d.]).

Como possíveis soluções para essa patologia têm-se:

- Baixos teores de aglomerantes, para valores menores de resistência, permitindo maiores deformações;
- Distribuição granulométrica contínua dos agregados, necessitando de quantidades inferiores de pasta e, conseqüentemente, diminuindo o risco de retração e
- Teor de material fino adequado, já que o excesso aumenta a proporção de água incorporada, levando a uma maior retração de secagem da argamassa (ABCP, [s.d.]).

A fissuração dos revestimentos pode afetar a capacidade de estanqueidade e aderência, prejudicadas nessas regiões por tensões tangenciais que podem exceder o limite de resistência ao cisalhamento, ocasionando o descolamento da argamassa e afetando assim a sua durabilidade (ABCP, [s.d.]).

3.2.4 Estanqueidade

A estanqueidade está associada com a absorção capilar da estrutura porosa, sendo influenciada pela natureza e frações dos materiais utilizados, espessura do revestimento, técnica de execução, substrato e número e tipo de fissuras presentes. Sua relevância se explica pela proteção que proporciona à base contra as intempéries (ABCP, [s.d.]).

3.2.5 Durabilidade

A durabilidade das argamassas de revestimento trata da habilidade de manterem seu desempenho no decorrer do tempo, podendo ser comprometida:

- Por movimentações térmica, de umidade ou por forças externas, causando fissuras, descolamento e desagregação;
- Pela espessura do revestimento que, quando aplicado de forma exagerada, aumenta a movimentação higroscópica e, conseqüentemente, as fissuras por retração, prejudicando a aderência e impermeabilidade e
- Pela proliferação de micro-organismos, pois fabricam ácidos orgânicos que destroem aos poucos os aglomerantes da argamassa já no estado endurecido (ABCP, [s.d.]).

3.3 ARGAMASSA REFORÇADA COM FIBRA

Materiais à base de cimento, quando comparados com os metais e polímeros, são consideravelmente mais frágeis e possuem pouca resistência à tração. Por conta disso, as argamassas apresentam microfissuras mesmo antes de serem submetidas a uma carga externa. Sob ação de uma carga, as microfissuras se propagam, coalescem e produzem grandes fissuras (BANTHIA; ZANOTTI; SAPPAKITTIPAKORN, 2014).

Uma das soluções para controlar o processo de fissuração é a incorporação de fibras na matriz cimentícia, pois isto eleva as resistências à tração, à abrasão e ao impacto e melhora a ductilidade (LI et al., 2018b).

Além disso, a utilização das fibras aumenta significativamente a tenacidade à fratura e o desempenho pós-fissuração da mistura, reduz a largura e a quantidade de fissuras pela ação da ponte de transferência de tensão, melhorando assim a durabilidade da matriz cimentícia (RALEGAONKAR et al., 2018).

Fibras maiores são capazes de interligar as trincas macro e transferir a carga novamente para a matriz que ainda não trincou (CAO; XU; ZHANG, 2018).

Nas últimas duas décadas, a tecnologia moderna se dedicou ao estudo de métodos para melhorar o desempenho de materiais cimentícios, como concretos e argamassas. O aumento da resistência à compressão desses compósitos eleva a fragilidade, tornando crescente o uso de fibras como material de reforço (VANTADORI; CARPINTERI; ZANICHELLI, 2019).

Desde a antiguidade, a composição das argamassas vem sendo aprimorada pelo uso de fibras e polímeros naturais devido a demanda por materiais resistentes e leves (ORBAN et al., 2018).

As fibras podem ser produzidas com inúmeros materiais, como aço, vidro, polímero, carbono, entres outros (LI et al., 2018b).

Donnini, Bellezze e Corinaldesi (2018) avaliaram as propriedades mecânicas de argamassas aos 28 dias de cura com a incorporação de fibras curtas de carbono com 6 mm de comprimento. Foram testadas proporções de 2, 3 e 4% em relação à massa de cimento, respeitando a mesma relação água/cimento e utilizando superplastificante para manter o índice de consistência em 130 mm à medida que as fibras fossem adicionadas. O traço, em massa, foi de 1:1,5:0,64 (cimento:areia:relação água/cimento).

Os corpos de prova ensaiados à compressão obtiveram ligeira redução da resistência em relação à referência. À medida que a quantidade de fibra aumentou, o valor reduziu, sendo a resistência da amostra com 4% de fibra 10% inferior. Já na flexão, as misturas com 2, 3 e 4% tiveram um ganho de resistência de 45, 89,5 e 129,2%, respectivamente, quando comparadas com a referência (DONNINI; BELLEZZE; CORINALDESI, 2018).

Pinto et al. (2013) incorporaram fios da indústria têxtil, com composição de 30% de lã e 70% de acrílico e resistência à tração de 7,44 MPa, em argamassa para reboco com traço, em massa, de 1:1:6 (cimento:cal hidráulica NHL5:areia) para medirem a resistência à compressão e à flexão. O tamanho dos fios foi de 2 e 4 cm em proporções mássicas de 1, 2, 3 e 4% em relação aos aglomerantes. A relação água/aglomerante adotada foi de 0,70 para todas as misturas.

As argamassas reforçadas com fibra apresentaram resultados superiores de resistência à compressão e flexão em relação aos corpos de prova de referência. Com o aumento do teor de fibras incorporado, aumentaram também os valores de resistência. Porém, a trabalhabilidade foi prejudicada, dificultando a aplicação (PINTO et al., 2013).

3.4 ISOLAMENTO TÉRMICO NAS EDIFICAÇÕES

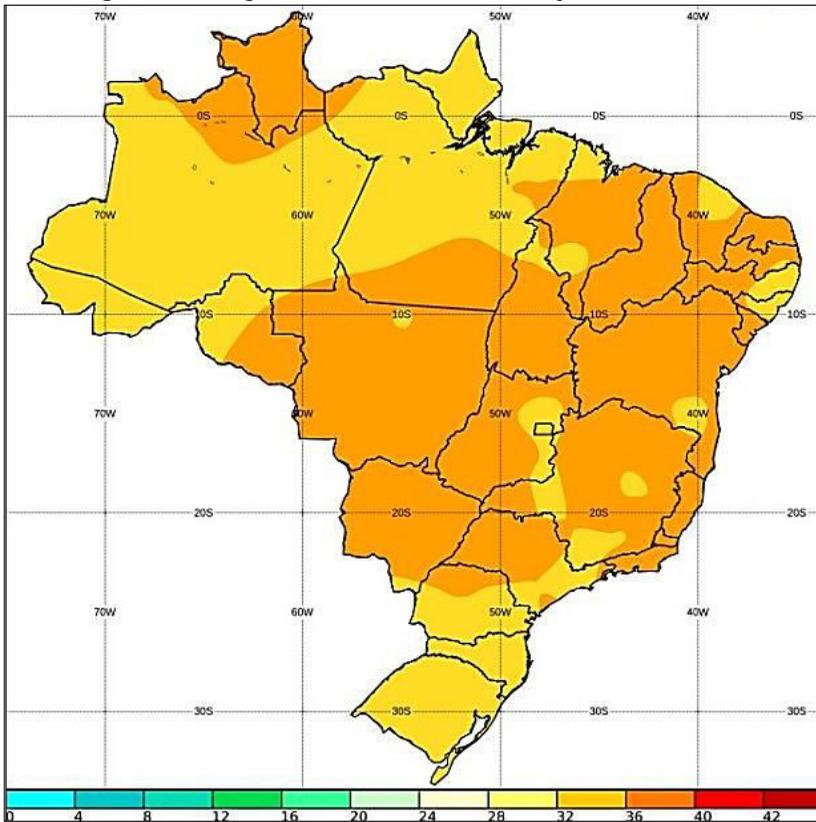
Os edifícios utilizam 40% da energia global e emitem mais de 30% do dióxido de carbono, sendo que grande parte desta fração está relacionada ao conforto térmico dos usuários (COSTA et al., 2013). Nas zonas de clima boreal, a energia é desprendida para o aquecimento; nas tropicais, para o resfriamento; as zonas temperadas apresentam temperaturas nos dois extremos. A necessidade energética está

diretamente ligada aos níveis de isolamento térmico das edificações (PÁSZTORY et al., 2018).

Pela sua grande extensão, diferentes formas de relevo, altitude e dinâmica das massas de ar e correntes, o Brasil apresenta uma variedade de climas. Em grande parte de seu território, predominam os climas quentes e úmidos, sendo a temperatura média em torno de 20 °C. Em Santa Catarina, prevalece o clima temperado (IBGE, 2002).

No estado, os dois primeiros meses do ano são os mais quentes (INMET, 2019a). Em janeiro de 2019, a temperatura máxima ficou entre 32 e 36 °C (Figura 3) com um desvio de 4 a 5 °C (INMET, 2019b).

Figura 3 - Temperatura máxima média em janeiro de 2019.



Fonte: INMET, 2019b.

Uma das alternativas para reduzir o consumo de energia é envolver as construções com materiais isolantes térmicos ou incorporá-los em elementos expostos à radiação solar (CETINER; SHEA, 2018).

Essa questão se torna ainda mais relevante no Brasil, pois a norma de desempenho ABNT NBR 15575, implementada em 2013, além do desempenho térmico, estabelece requisitos mínimos para estabilidade estrutural, desempenho luminoso e acústico, resistência ao fogo e sistemas hidrossanitários (MOBUSS CONSTRUÇÃO, 2018).

Entre os isolantes existentes no mercado, destacam-se o poliestireno expandido e a espuma de poliuretano, que são muito empregados pelo desempenho e resistência, porém o impacto ambiental envolvido no processo produtivo destes materiais é elevado (CETINER; SHEA, 2018).

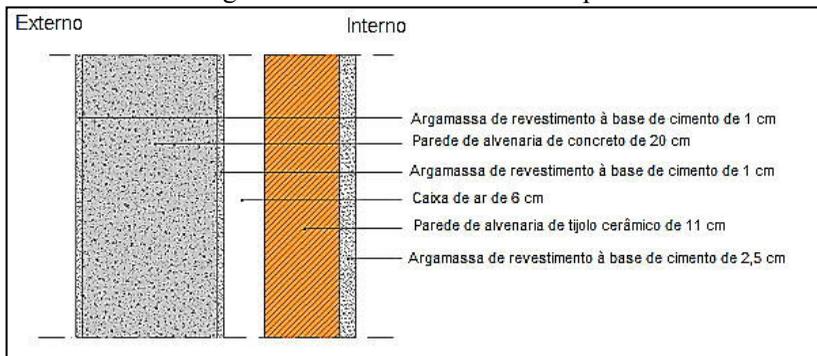
Quanto maior for a porosidade de um material, menor será a sua condutividade térmica. Na produção de compósitos cimentícios com alta porosidade podem ser utilizados agentes de espuma e entrada de ar (KOKSAL; MUTLUAY; GENCEL, 2020).

Os isolantes comuns são porosos e a transferência de calor ocorre por meio da condução na matriz sólida, da condução na fase gasosa, radiação e convecção por meio dos poros e da superfície. Sua condutividade depende da estrutura, densidade, teor de umidade e temperatura (PÁSZTORY et al., 2018).

Os isolantes fibrosos, como a fibra de celulose, a fibra de vidro e a lã mineral, se beneficiam da pequena condutividade térmica do ar ao segmentá-lo em vazios menores. Os fabricados em espuma, com agentes que se expandem e ficam presos no interior da estrutura, como são mais densos que o ar, apresentam condutividade térmica menor (PÁSZTORY et al., 2018).

Briga-Sá et al. (2013) testaram dois tipos de resíduos têxteis 100% acrílicos, um com uma densidade de 440 kg/m^3 (WFW) e outro de 125 kg/m^3 (WFS). Para isso, construíram uma parede composta por seis camadas (Figura 4), incorporando-os como material isolante na caixa de ar.

Figura 4 - Modelo de alvenaria dupla.



Fonte: Adaptado de Briga-Sá et al., 2013.

O resíduo WFW melhorou a resistência térmica em 56% em relação à parede com apenas a caixa de ar e apresentou condutividade térmica de $0,044 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. As aparas de tecido WFS aumentaram a resistência térmica em 30% com um valor de condutividade de $0,103 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (BRIGA-SÁ et al., 2013).

Esses resultados indicam que o resíduo com maior densidade tem propriedades isolantes superiores. A condutividade térmica do WFW é similar a dos materiais já usados nas construções, como o poliestireno expandido extrudado ($0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), o poliestireno expandido moldado ($0,037 - 0,055 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) e a lã mineral ($0,040 - 0,045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) (BRIGA-SÁ et al., 2013).

Barreca e Fichera (2013) avaliaram a condutância térmica de contato em argamassas contendo 25% de cimento, 10% de cal e 65% de areia, com adição de 0, 20, 40, 50, 60 e 70% de resíduo de oliveira (33,45% de celulose, 23,11% de lignina, 24,45% de hemicelulose e 0,02% de cinza) em relação a massa da mistura seca, ajustando a quantidade de água para manter a trabalhabilidade. Para isso, produziram painéis com dimensões de $0,30 \times 0,30 \times 0,02 \text{ m}$.

Os resultados demonstraram que conforme o resíduo era incorporado, a condutância térmica reduzia, sendo de $54,60 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ para a argamassa de referência e de $13,31 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ para a mistura com o maior teor (BARRECA; FICHERA, 2013).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Adotaram-se como principais etapas para o desenvolvimento da pesquisa as descritas no fluxograma da Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma com as principais etapas do procedimento experimental.



Fonte: Do Autor, 2020.

4.1 MATERIAIS

As aparas de tecido (Figura 6) foram coletadas em uma empresa de confecção localizada no município de Nova Veneza/SC.

Figura 6 - Aparas de tecido.



Fonte: Do Autor, 2020.

Para a produção das argamassas de revestimento, foram utilizados o cimento, a areia normal brasileira do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), conforme a ABNT NBR 7214 (2015), e a cal hidráulica HL2.

O cimento foi escolhido segundo a classificação do fabricante quanto a sua aplicação, se enquadrando nas categorias CP II E 32, CP II E 32 RS, CP II F 32, CP II Z 32, CP II Z 32 RS, CP III 40 RS e CP IV 32, variando de acordo com a região. O adotado neste trabalho foi o CP IV 32.

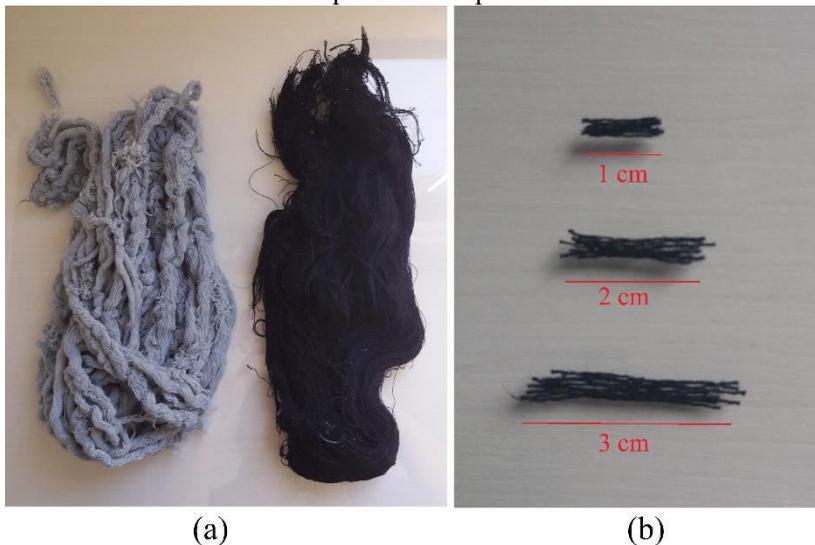
4.2 MÉTODOS

4.2.1 Preparação dos materiais

Para assemelharem-se às fibras existentes no mercado, os resíduos de tecido foram desfiados manualmente, retornando à forma de fios (Figura 7(a)), e cortaram-se os de coloração mais escura em

comprimentos de 1, 2 e 3 cm (Figura 7(b)). Os demais (25% do resíduo) não foram utilizados pela baixa resistência à tração.

Figura 7 - Aparas de tecido (a) na forma de fios longos e (b) cortados em comprimentos específicos.

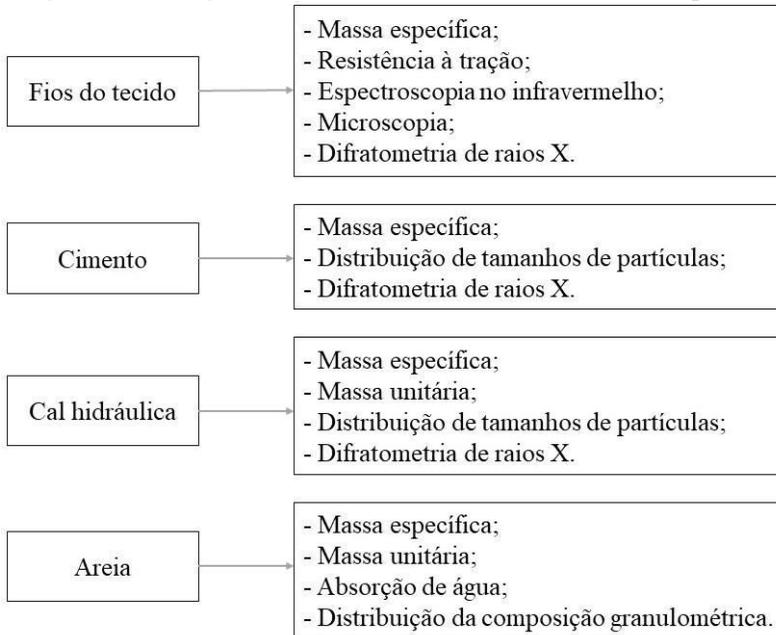


Fonte: Do Autor, 2020.

4.2.2 Caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização aplicados ao resíduo na forma de fio, cimento, areia e cal hidráulica encontram-se no fluxograma da Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma com as caracterizações das matérias-primas.



Fonte: Do Autor, 2020.

A massa específica da areia foi determinada segundo a ABNT NBR NM 52 (2009) no Laboratório de Valoração de Resíduos (LabValora), pertencente ao Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT/UNESC), sendo calculada pelas Equações 1 e 2.

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (1)$$

Onde

V_a : Volume de água adicionada ao frasco (cm^3);

m_1 : Massa do conjunto frasco e agregado (g);

m_2 : Massa total frasco, agregado e água (g) e

ρ_a : Massa específica da água (g/cm^3).

$$d = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (2)$$

Onde

d: Massa específica do agregado (g/cm³);

m: Massa da amostra seca em estufa (g);

V: Volume do frasco (cm³) e

m_s: Massa da amostra na condição saturada superfície seca (g).

A condição saturada superfície seca refere-se às partículas que, quando submetidas a uma corrente de ar, mantêm toda a água absorvida possível (ABNT NBR NM 52, 2009).

A massa específica do resíduo, do cimento, da cal hidráulica e da areia, para comparação, foi mensurada em um picnômetro a gás hélio (Quantachrome Ultrapyc 1200e) do Laboratório de Cerâmica Técnica (CerTec) do IDT/UNESC.

Estimou-se a massa unitária da areia e da cal hidráulica no LabValora/IDT/UNESC, segundo a ABNT NBR NM 45 (2006), por meio da Equação 3.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (3)$$

Onde

ρ_{ap}: Massa unitária do agregado (kg/m³);

m_{ar}: Massa do recipiente mais o agregado (kg);

m_r: Massa do recipiente vazio (kg) e

V: Volume do recipiente (m³).

A absorção de água do agregado miúdo foi realizada no LabValora/IDT/UNESC de acordo com a ABNT NBR NM 30 (2001), sendo calculada com a Equação 4.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (4)$$

Onde

A: Absorção de água (%).

Obtiveram-se a distribuição da composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura da areia segundo a ABNT NBR NM 248 (2003) no LabValora/IDT/UNESC.

A amostra foi seca em estufa a 105 ± 5 °C por um período de 24 horas. Após seu resfriamento, 300 g (75 g de cada areia) foram colocados em porções na peneira superior do conjunto (Tabela 2), passando por um processo de agitação manual, sendo determinadas as massas retidas em cada malha.

Tabela 2 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
0,60 mm	-
0,30 mm	-
0,15 mm	-

Fonte: ABNT NBR NM 248, 2003.

A dimensão máxima característica e o módulo de finura foram estimados de acordo com as definições estabelecidas pela mesma norma:

- A dimensão máxima do agregado corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma

porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa;

- O módulo de finura equivale à soma dos percentuais retidos acumulados, em massa, de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100.

As areias também foram peneiradas separadamente para verificar se elas atendem à ABNT NBR 7214 (2015).

A distribuição dos tamanhos de partículas do cimento e da cal hidráulica, dispersos em água, foi verificada em um granulômetro a laser Cilas 1064 (faixa de leitura de 0,04 a 500 μm) do Laboratório de Caracterização de Materiais (CECAM/IDT/UNESC).

A resistência à tração dos fios do tecido foi determinada de acordo com a ASTM C1557 (2014) no Laboratório de Ensaios Mecânicos do IDT/UNESC. As amostras são compostas por um único fio e ensaiadas cinco vezes. O teste foi conduzido em uma máquina universal de ensaios EMIC DL 10000 a uma velocidade constante de 150 mm/min. A norma determina que a velocidade aplicada seja suficiente para romper a amostra em menos de 30 segundos.

A Equação 5 determina a resistência à tração.

$$\sigma_t = \frac{F_f}{A_{st}} \quad (5)$$

Onde

σ_t : Resistência à tração (Pa);

F_f : Força para falha (N) e

A_{st} : Área transversal da fibra (fio) no plano da fratura (m^2).

A ASTM C1557 (2014) trata “A” como área transversal da fibra no plano da fratura. Por utilizar essa simbologia na Equação 4, aqui foi adotado “ A_{st} ”.

A análise por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) dos fios do tecido ocorreu em um espectrofotômetro Bruker Tensor II com acessório de reflectância total atenuada (ATR) do LabValora/IDT/UNESC, na região de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 200 varreduras.

O fio do tecido foi avaliado em um microscópio digital Haiz 1600X.

As fases cristalinas do cimento, da cal hidráulica e do resíduo foram determinadas com auxílio de um difratômetro de raios X (DRX) Shimadzu XRD-6000 do CECAM/IDT/UNESC, radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), tensão de 25 kV e 25 mA de corrente elétrica. O intervalo de medida em 2θ variou (dependendo da amostra) de 3 a 80° e 10 a 80° com velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$.

4.2.3 Dosagem das argamassas

De acordo com Carneiro e Cincotto (1999), para as argamassas de revestimento, os traços mais empregados na construção civil são 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal:areia), em uma proporção aglomerante:agregado de 1:3, pois apresentam boa durabilidade.

Para a confecção das argamassas, foi adotado o traço (1:1:6) em massa, por ter a mesma quantidade de cimento e cal hidráulica, e adaptou-se a relação água/aglomerante para um índice de consistência fixado em $260 \pm 5 \text{ mm}$, segundo a ABNT NBR 13276 (2016). O agregado miúdo utilizado foi uma mistura da mesma quantidade das areias normais 16, 30, 50 e 100.

Com base no trabalho de Pinto et al. (2013), os teores de fios do tecido incorporados em relação à massa de aglomerante foram de 1, 2 e 3%, com comprimentos de 1, 2 e 3 cm.

Para avaliar a influência desses parâmetros sobre cada variável resposta, executou-se um planejamento estatístico fatorial 3^k com dois fatores (3^2), teor e comprimento dos fios do tecido, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de dados do planejamento fatorial 3^2 .

Experimento	Fatores			
	Níveis		Teor de fios (%)	Comprimento (cm)
1	-1	-1	1	1
2	-1	0	1	2
3	-1	1	1	3
4	0	-1	2	1
5	0	0	2	2
6	0	1	2	3
7	1	-1	3	1
8	1	0	3	2
9	1	1	3	3

Fonte: Do Autor, 2020.

As variáveis respostas foram a resistência à tração na flexão, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência de aderência à tração, absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Para comparar as amostras com a adição de resíduo com a referência, empregou-se a melhor composição elencada pela análise estatística do planejamento experimental descrito na Tabela 3 e aplicaram-se testes para comparação de duas variâncias (Teste F) e teste para comparação de duas médias (Teste t) com auxílio do *software Excel*.

4.2.4 Elaboração das misturas

O processo de mistura para produção das argamassas aconteceu como determina a ABNT NBR 16541 (2016) e foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC/IDT/UNESC). Secou-se o agregado miúdo em estufa na temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas antes do procedimento.

Os fios do tecido foram adicionados no final da mistura e após verificou-se o índice de consistência.

4.2.5 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova cilíndricos (5 cm de diâmetro e 10 cm de altura) ocorreu de acordo com a ABNT NBR 7215 (2019). Após o amassamento, a argamassa foi colocada em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, sendo aplicados 30 golpes em cada uma, e então rasadas com auxílio de uma régua metálica.

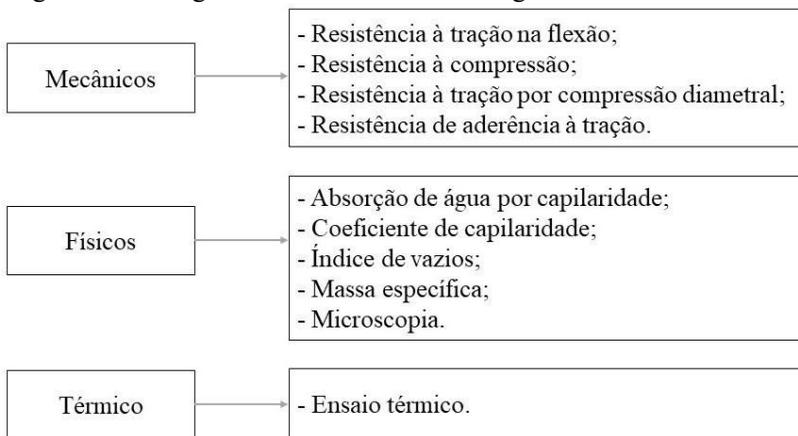
Os corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) foram preenchidos em duas camadas e em cada uma aplicaram-se 30 golpes com o auxílio da mesa de adensamento, de acordo com a ABNT NBR 13279 (2005).

O procedimento ocorreu no LMCC/IDT/UNESC.

4.2.6 Ensaios

Os ensaios estabelecidos para as argamassas de revestimento encontram-se no fluxograma da Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma com os ensaios das argamassas de revestimento.



Fonte: Do Autor, 2020.

Para o ensaio de resistência à tração na flexão, moldaram-se cinco corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) para cada experimento (Tabela 3 e amostra de referência), mantendo-os nos moldes por um período de 24 horas e então ao ar na temperatura de 23 ± 2 °C até 28 dias, como determina a ABNT NBR 13279 (2005). O equipamento para rompê-los foi a máquina universal de ensaios EMIC DL10000, aplicando uma carga uniforme e sem choque de 50 ± 10 N/s. O procedimento aconteceu no Laboratório de Ensaios Mecânicos/IDT/UNESC.

A resistência à tração na flexão foi calculada de acordo com a Equação 6.

$$R_f = \frac{1,5F_v L}{40^3} \quad (6)$$

Onde

R_f : Resistência à tração na flexão (MPa);

F_v : Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N) e

L : Distância entre os suportes (mm).

A ABNT NBR 13279 (2005) trata “ F_f ” como carga aplicada verticalmente no centro do prisma. Por utilizar essa simbologia na Equação 5, aqui foi adotado “ F_v ”.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado como estabelece a ABNT NBR 13279 (2005). Utilizou-se para romper os corpos de prova a prensa EMIC PC200CS, aplicando uma carga uniforme e sem choque de 500 ± 50 N/s em cada metade dos cinco corpos de prova do ensaio de flexão. O procedimento aconteceu no LMCC/IDT/UNESC.

A resistência à compressão foi dada de acordo com a Equação 7.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (7)$$

Onde

R_c : Resistência à compressão (MPa) e

F_c : Carga máxima aplicada (N).

Os corpos de prova rompidos foram reaproveitados na investigação das diferentes composições por meio de um microscópio digital.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado como estabelece a ABNT NBR 7222 (2011). Moldaram-se cinco corpos de prova com diâmetro de 5 cm e comprimento de 10 cm para cada experimento da Tabela 3 e amostra de referência, mantendo-os no molde por 20 a 24 horas e depois imergindo-os em água saturada de cal por 28 dias. Para romper os corpos de prova, utilizou-se a prensa EMIC PC200CS do LMCC/IDT/UNESC. Aplicou-se continuamente uma carga, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $0,05 \pm 0,02$ MPa/s.

Para o cálculo da resistência à tração por compressão diametral foi empregada a Equação 8, encontrada na ABNT NBR 7222 (2011).

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi d l} \quad (8)$$

Onde

$f_{ct,sp}$: Resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F: Força máxima obtida no ensaio (N);

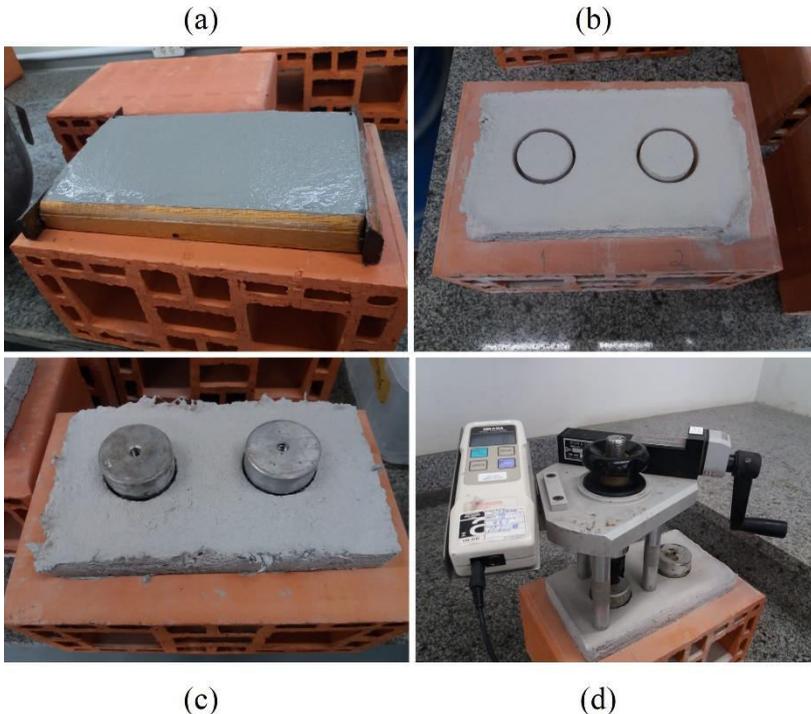
di: Diâmetro do corpo de prova (mm) e

l: Comprimento do corpo de prova (mm).

A ABNT NBR 7222 (2011) trata “d” como diâmetro do corpo de prova. Por utilizar essa simbologia na Equação 2, aqui foi adotado “di”.

O ensaio para avaliar a resistência de aderência à tração foi executado de acordo com ABNT NBR 13528 (2010) no LMCC/IDT/UNESC após 28 dias. Adotou-se como substrato blocos cerâmicos lisos (pior situação) com aplicação de uma única camada de argamassa com 20 a 30 mm de espessura (Figura 10(a)), como especifica a ABNT NBR 13749 (2013) para paredes externas. Para cada tipo de mistura, foram feitos 4 cortes estendendo de 1 a 5 mm dentro do substrato (Figura 10(b)) para posterior fixação da pastilha com cola à base de resina epóxi (Figura 10(c)).

Figura 10 - Ensaio de resistência de aderência à tração. (a) Aplicação da argamassa, (b) corte, (c) colagem da pastilha e (d) ensaio.



Fonte: Do Autor, 2020.

Após a secagem da cola, o dinamômetro DINATEST DNTT-5 foi acoplado à pastilha (Figura 10(d)) aplicando um esforço de tração

perpendicularmente ao corpo de prova com taxa de carregamento constante até a ruptura, obtendo a força necessária para o arrancamento. Com auxílio de um paquímetro, realizaram-se duas medidas do diâmetro da amostra para obter a média da área e então determinar a resistência à aderência (Equação 9).

$$Ra = \frac{F_r}{A_{cp}} \quad (9)$$

Onde

Ra: Resistência de aderência à tração (MPa);

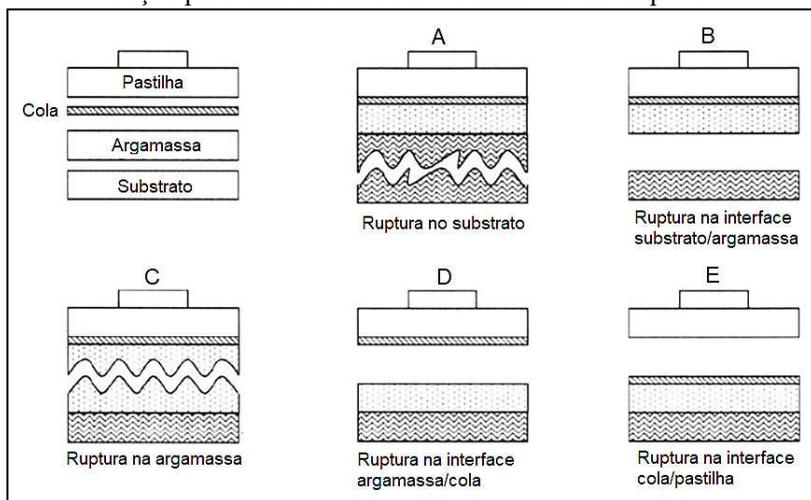
F_r: Força de ruptura (N) e

A_{cp}: Área do corpo de prova (mm²).

A ABNT NBR 13528 (2010) trata a força de ruptura como “F” e “A” como área do corpo de prova. Por utilizar essas simbologias nas Equações 4 e 8, aqui foram adotados “F_r” e “A_{cp}”, respectivamente.

Também foram analisadas as formas como ocorreram as rupturas de acordo com a Figura 11.

Figura 11 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco.



Fonte: ABNT NBR 13528, 2010.

O ensaio para avaliar a absorção de água e determinar o coeficiente de capilaridade seguiu a ABNT NBR 15259 (2005). Foram moldados cinco corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) para cada mistura que, após 28 dias, foram imersos em água no nível de 5 ± 1 mm acima da face em contato. Passados 10 minutos, após retirada do excesso de água, foram pesados, repetindo o processo aos 90 minutos.

As Equações 10 e 11 representam a absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade, respectivamente.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (10)$$

Onde

A_t : Absorção de água por capilaridade para cada tempo (g/cm^2);

m_t : Massa do corpo de prova para cada tempo (g) e

m_0 : Massa inicial do corpo de prova (g).

$$C = m_{90} - m_{10} \quad (11)$$

Onde

C : Coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$);

m_{90} : Massa do corpo de prova aos 90 minutos e

m_{10} : Massa do corpo de prova aos 10 minutos.

O coeficiente de capilaridade é aproximadamente igual ao valor médio das diferenças de massa aos 10 minutos e aos 90 minutos.

Para determinar o índice de vazios e massa específica, foram moldados cinco corpos de prova com diâmetro de 5 cm e comprimento de 10 cm para cada experimento (Tabela 3 e amostra de referência). Após 28 dias de cura, as amostras foram colocadas em estufa à temperatura de 105 ± 5 °C por um período de 72 horas para determinar sua massa seca (m) e, em seguida, imersas em água à temperatura de 23 ± 2 °C durante 72 horas.

Completada a etapa de saturação em água, colocaram-se os corpos de prova em um recipiente com água levada progressivamente à ebulição, onde foram mantidos por 5 horas. Depois desse processo, a água foi resfriada naturalmente até atingir 23 ± 2 °C e então as amostras foram pesadas com auxílio de uma balança hidrostática para se obter m_i .

Por último, foram secas com pano para retirar o excesso de água e poder registrar a massa saturada (m_{sat}).

Realizaram-se todas as etapas do procedimento de acordo com a ABNT NBR 9778 (2009). As equações 12 e 13 representam respectivamente o índice de vazios e massa específica.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (12)$$

Onde

I_v : Índice de vazios (%);

m_{sat} : Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g);

m : Massa da amostra seca em estufa (g) e

m_i : Massa da amostra saturada imersa em água após fervura (g).

A ABNT NBR 9778 (2009) trata “ m_s ” como massa da amostra seca em estufa. Por utilizar essa simbologia na Equação 2, aqui foi adotado “ m ”.

$$\rho_s = \frac{m}{m_{sat} - m_i} \quad (13)$$

Onde

ρ_s : Massa específica da amostra seca (g/cm^3).

Para avaliar a durabilidade das argamassas de revestimento, os corpos de prova utilizados para medir a absorção de água por capilaridade foram expostos às intempéries por 150 dias, contados após o período de cura, mediram-se suas resistências à tração na flexão e à compressão.

Para analisar a influência do resíduo na capacidade de isolamento térmico da argamassa, produziram-se duas placas, uma com a mistura de referência e outra com a que conciliou melhores resultados nos ensaios físicos e mecânicos, com dimensões de 47 x 47 cm (medidas definidas pelo tamanho da porta da estufa) e com 30 milímetros de espessura, como especifica a ABNT NBR 13749 (2013) para paredes externas.

O ensaio foi realizado em uma estufa microprocessada de secagem Quimis Q317M-32 do LMCC/IDT/UNESC. Após os 28 dias

de cura, a porta da estufa foi substituída pelas placas e os espaços vazios foram preenchidos com lã de rocha para evitar a perda de calor. A temperatura de 40 °C, máxima verificada em janeiro de 2019 em Santa Catarina de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (2019b), foi mantida durante o período de seis horas. O ensaio também foi realizado a 60 °C.

Para medir a temperatura, utilizaram-se cinco termopares do tipo k: 1 dentro da estufa, 1 na superfície interna da placa, 1 no meio da placa, 1 na superfície externa da placa e 1 no ambiente. Com auxílio de uma câmera termográfica FLIR T440, com resolução térmica de 76.800 pixels e faixa de temperatura de -20°C a 1.200°C, imagens foram feitas no início, meio e no fim dos testes.

A Figura 12 demonstra o esquema para a realização do ensaio.

Figura 12 - Montagem do ensaio para avaliar a capacidade de isolamento da argamassa.



Fonte: Do Autor, 2020.

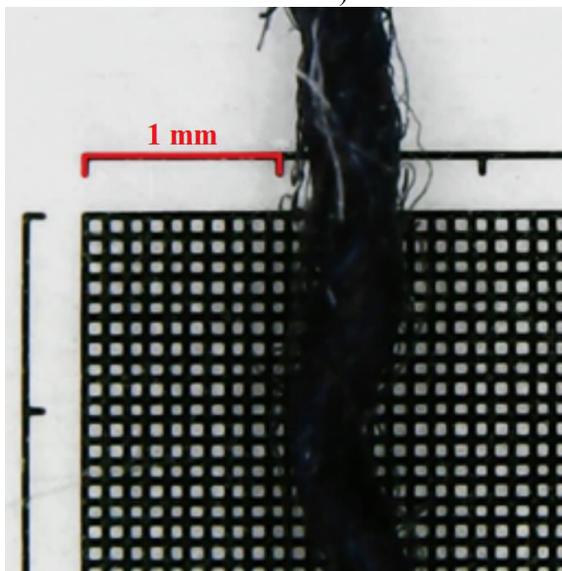
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados são apresentados nas seções subsequentes.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A Figura 13 mostra que o diâmetro dos fios do tecido escolhidos para o desenvolvimento do trabalho é de aproximadamente 0,5 mm e que um único fio é formado por inúmeras fibras.

Figura 13 - Imagem microscópica do fio (escala vermelha em milímetros).



Fonte: Do Autor, 2020.

A Tabela 4 demonstra as resistências à tração dos fios.

Tabela 4 - Resistência à tração dos fios.

Fio	F_f (N)	σ_t (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1	15,32	78,02		
2	15,67	79,81		
3	15,67	79,81	78,04	2,14
4	14,64	74,56		
5	15,32	78,02		

Fonte: Do Autor, 2020.

Os fios do tecido apresentaram resistência à tração de $78,04 \pm 2,14$ MPa. Bertelsen, Ottosen e Fischer (2020), ao estudarem diferentes tipos de fibras aplicadas em materiais à base de cimento, encontraram valores de resistência à tração para fibras de celulose entre 500 e 600 MPa.

Porém, a variabilidade da resistência à tração de fibras empregadas em materiais cimentícios é grande. Akand, Yang e Wang (2018) verificaram para a fibra de polipropileno 300 MPa e Li et al. (2018a) 1.100 a 1.300 MPa para a fibra de aço.

A massa específica dos fios utilizados, $1,56 \pm 0,04$ g/cm³, e dos fios descartados ($1,57 \pm 0,02$ g/cm³) ficou próxima à das fibras de algodão e viscose (Tabela 5).

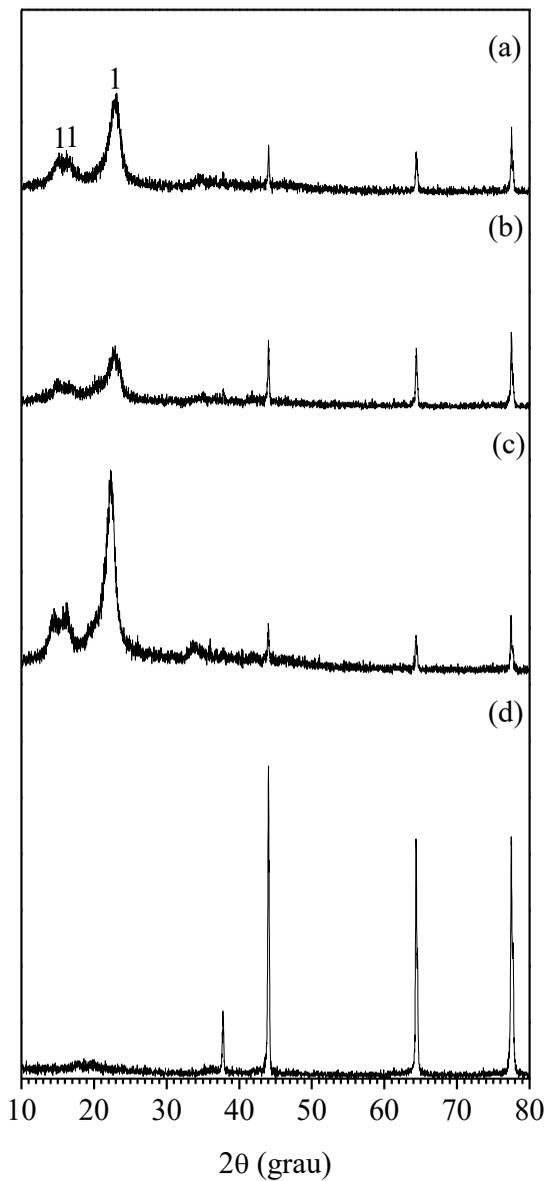
Tabela 5 - Massa específica de fibras têxteis.

Fibra	Massa específica (g/cm ³)
Poliéster	1,38
Polipropileno	0,91
Algodão	1,52
Lã	1,32
Viscose	1,52
Acetato	1,32

Fonte: Maroni et al., 1999.

A Figura 14 traz os difratogramas de raios X do resíduo na forma de tecido, de fios e também do porta amostra do equipamento.

Figura 14 - Difratogramas de raios X dos (a) fios utilizáveis/escuros, (b) fios descartados/claros, (c) do tecido e (d) porta amostra. Onde 1 - celulose.

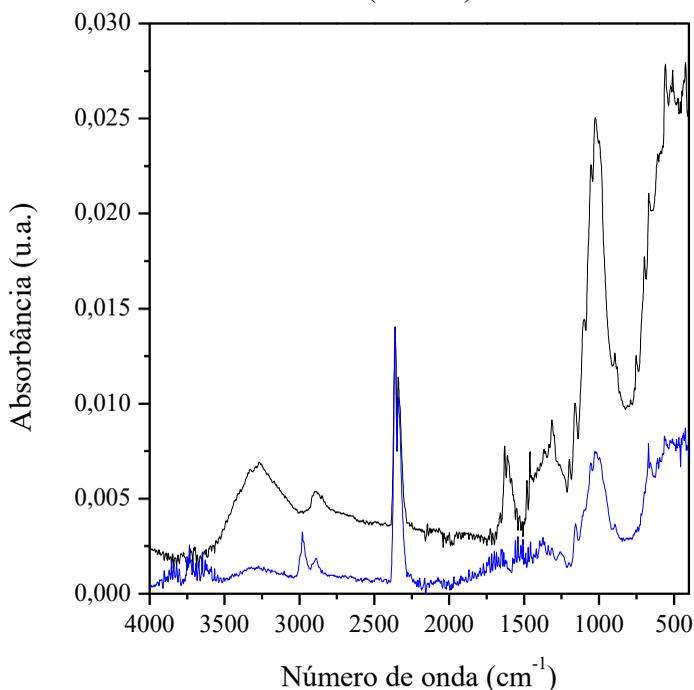


Fonte: Do Autor, 2020.

Na Figura 14(a)-(c), os picos na região $2\theta < 30^\circ$ são característicos da celulose - $(C_6H_{10}O_5)_n$ (JCPDS: 50-2241), que compõe as fibras de algodão e viscose (BLAS-SEVILLANO et al., 2018; SCHOLZ et al., 2019). Para os fios descartados, Figura 14(b), observam-se picos menos intensos em relação aos fios utilizáveis. Por sua elasticidade, os fios claros podem ser constituídos também por um pequeno percentual de elastano, que é composto por fibras de poliuretano (WANG et al., 2017). Os demais picos são referentes ao porta amostra.

Os espectros de FTIR/ATR dos fios encontram-se na Figura 15.

Figura 15 - FTIR/ATR dos fios do tecido utilizáveis (em preto) e descartados (em azul).



Fonte: Do Autor, 2020.

Os fios utilizáveis apresentaram bandas entre 3.700 e 3.000, 3.000 e 2.800 e 1.500 e 1.200 cm^{-1} e picos em 1.630 e 1.025 cm^{-1} característicos de fibras de algodão (ABIDI; CABRALES; HAIGLER,

2014) e viscosa (LIU; WANG; CHEN, 2020). Popescu et al. (2019) não observaram diferença nos espectros dos dois tipos de fibras, que são caracterizadas por vibrações das ligações O-H, C-H e C-O, e também visualizaram a banda abaixo do pico em 670 cm^{-1} nos dois espectros.

Os picos em 2.360 e 670 cm^{-1} para ambos os fios, segundo a base de dados EPA_NIST.S01 (espectro 3.233), são do dióxido de carbono adsorvido na superfície do resíduo.

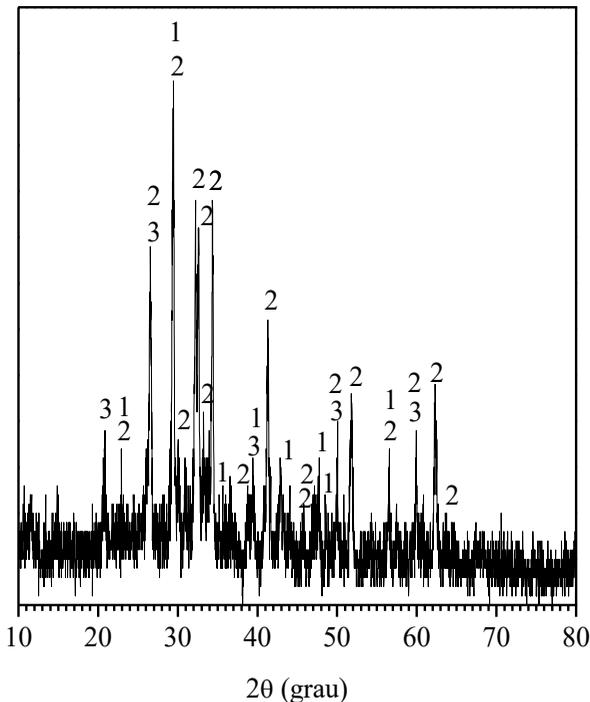
Os fios descartados também mostraram bandas e picos de fibras de viscosa e algodão, porém menos intensos. Os picos entre 4.000 e 3.500 cm^{-1} referem-se à água (umidade) (CHEN et al., 2019).

A massa específica do cimento determinada por picnometria a gás hélio foi de $2,78 \pm 0,01\text{ g/cm}^3$, valor próximo ao encontrado por Capraro et al. (2019) de $2,82\text{ g/cm}^3$.

Quanto à distribuição de tamanhos de partículas, 90% ficaram abaixo de $34,78\text{ }\mu\text{m}$, 50% apresentaram diâmetro inferior a $13,30\text{ }\mu\text{m}$ e 10% ficaram abaixo de $2,25\text{ }\mu\text{m}$, com um diâmetro médio de $16,30\text{ }\mu\text{m}$. A ABNT NBR 16697 (2018) estabelece que o resíduo na peneira com abertura de $75\text{ }\mu\text{m}$ deve ser $\leq 8,0\%$. Segundo a análise em granulômetro a laser, todas as partículas de cimento ficaram abaixo de $71\text{ }\mu\text{m}$.

No difratograma de raios X do cimento (Figura 16) encontram-se picos das fases cristalinas calcita - CaCO_3 (JCPDS: 5-0586), silicato de alumínio, magnésio e cálcio - $54\text{CaO}.16\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{MgO}$ (JCPDS: 11-0593) e quartzo - SiO_2 (JCPDS: 46-1045), compatíveis com a composição química estimada por fluorescência de raios X por Capraro et al. (2019): CaO (45,12%), SiO_2 (28,94%), Al_2O_3 (9,97%) e MgO (3,18%).

Figura 16 - Difratoograma de raios X do cimento. Onde 1 - calcita, 2 - silicato de alumínio, magnésio e cálcio e 3 - quartzo.



Fonte: Do Autor, 2020.

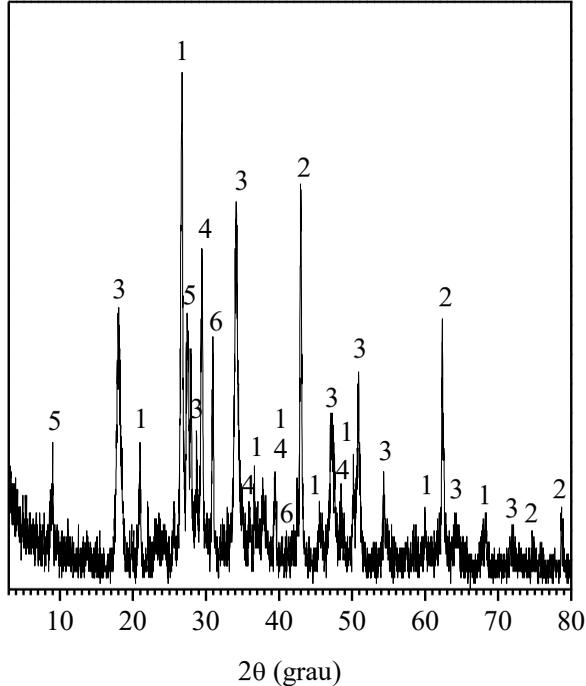
A massa específica da cal hidráulica foi de $2,68 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, um pouco menor que a do cimento ($2,78 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$). A massa unitária de $582,36 \text{ kg/m}^3$ ficou entre o valor encontrado por Banfill, Szadurski e Forster (2016) de 550 kg/m^3 e Pozo-Antonio (2015) de 660 kg/m^3 para cal hidráulica natural NHL2, classificada com o mesmo valor de resistência à compressão que a utilizada neste trabalho.

O diâmetro médio das partículas de cal foi de $16,86 \mu\text{m}$, sendo que 90% das partículas ficaram abaixo de $43,35 \mu\text{m}$, 50% abaixo de $10,31 \mu\text{m}$ e 10% apresentaram tamanhos inferiores a $1,47 \mu\text{m}$.

A Figura 17 mostra o difratograma de raios X da cal hidráulica. Para ela, foram identificadas as fases cristalina quartzo - SiO_2 (JCPDS: 46-1045), periclásio - MgO (JCPDS: 45-0946), portlandita - Ca(OH)_2 (JCPDS: 4-0733), calcita - CaCO_3 (JCPDS: 5-0586), silicato de alumínio e potássio hidratado - $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (JCPDS: 16-0692) e dolomita - $\text{CaMg(CO}_3)_2$ (JCPDS: 36-0426), concordando com a

composição fornecida pelo fabricante, que inclui hidróxidos de cálcio e magnésio, silicatos e aluminatos de cálcio.

Figura 17 - Difratoograma de raios X da cal hidráulica. Onde 1 - quartzo, 2 - periclásio, 3 - portlandita, 4 - calcita, 5 - silicato de alumínio e potássio hidratado e 6 - dolomita.



Fonte: Do Autor, 2020.

Zhang et al. (2018), além do quartzo, periclásio, portlandita e calcita, também identificaram fases cristalinas de silicato dicálcico ($(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$) e CaO em cal hidráulica natural NHL2, cuja composição química apresentou CaO (79,66%), SiO_2 (7,90%), MgO (6,18%), Al_2O_3 (2,56%), Fe_2O_3 (1,52%), SO_3 (0,92%) e K_2O (0,71%).

A areia apresentou uma massa específica de $2,46 \text{ g/cm}^3$, estimada de acordo com as orientações da ABNT NBR NM 52 (2009), e de $2,66 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, encontrada por picnometria a gás hélio. Sua massa unitária foi de $1.513,76 \text{ kg/m}^3$ e a absorção de água de 0,52% foi inferior à da areia fina comercial (0,65%) (LESSARD et al., 2017).

A diferença entre os valores de massa específica pode estar relacionada com o método do ensaio, já que para determiná-la segundo a norma, o material precisa estar na condição saturada superfície seca. Almeida et al. (2015) obtiveram um valor próximo de massa específica por picnometria (2,64 g/cm³).

A Tabela 6 apresenta a distribuição granulométrica da areia.

Tabela 6 - Distribuição da composição granulométrica da areia.

Peneira	% Retido	% Retido acumulado	Dimensão máxima característica	Módulo de finura
2,36 mm	0,2	0,2		
1,18 mm	23,6	23,8		
600 µm	23,5	47,3	2,36 mm	2,42
300 µm	27,9	75,2		
150 µm	20,7	95,9		
Fundo	4,1	100,0		

Fonte: Do Autor, 2020.

A dimensão máxima característica e o módulo de finura da areia foram de 2,36 mm e 2,42, respectivamente, valores similares aos apresentados por Almeida et al. (2015) de 2,36 mm e 2,46, respectivamente. Em relação à granulometria, a única areia que atendeu à especificação da ABNT NBR 7214 (2015) da Tabela 7 foi a número 50, com o percentual retido de 96,46%.

Tabela 7 - Tolerância de frações granulométricas.

Denominação	Material retido entre as peneiras de abertura nominal	Porcentagem retida em massa (%)	Limites estabelecidos em norma (%)
16	2,4 mm e 2,0 mm	16,87	≤ 10
	2,0 mm e 1,2 mm	83,14	≥ 90
30	1,2 mm e 0,6 mm	91,38	≥ 95
50	0,6 mm e 0,3 mm	96,46	≥ 95
100	0,3 mm e 0,15 mm	84,92	≥ 95

Fonte: Baseada na ABNT NBR 7214, 2015.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A relação água/aglomerante e o índice de consistência de todas as misturas estudadas encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Índice de consistência das misturas.

Exp.	Teor de fios (%)	Comprimento (cm)	Relação água/aglomerante	Índice de consistência ($\pm 0,01$ mm)
Ref.	-	-	0,70	261,03
1	1	1	0,80	258,42
2	1	2	0,80	256,03
3	1	3	0,80	255,78
4	2	1	0,85	256,27
5	2	2	0,85	260,65
6	2	3	0,85	255,78
7	3	1	0,92	255,28
8	3	2	0,90	256,15
9	3	3	0,92	256,12

Fonte: Do Autor, 2020.

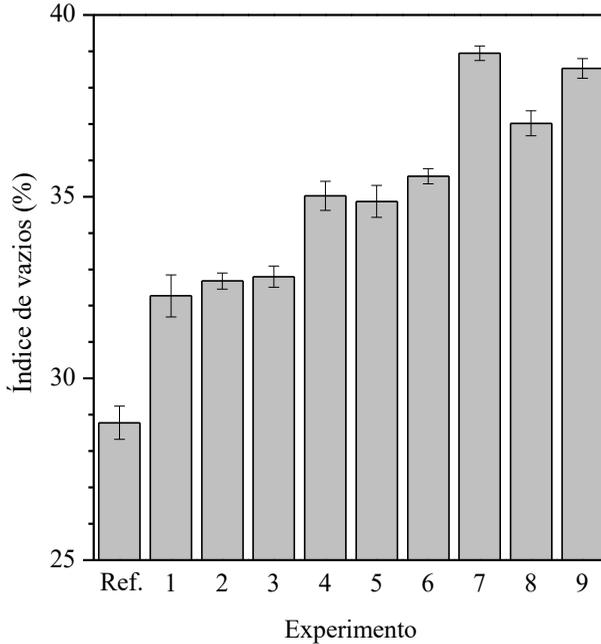
Analisando os valores da relação água/aglomerante (Tabela 8), para o índice de consistência fixado em 260 ± 5 mm, as misturas com adição de fios do tecido necessitaram de maior quantidade de água, pois o resíduo absorve grande parte, dificultando o espalhamento das argamassas. Spadea et al. (2015) também relataram que a redução da trabalhabilidade está relacionada com maiores quantidades e comprimentos de fibras.

Cardinale et al. (2017) produziram painéis de argamassa (1.213 g de cimento, 2.965 g de areia e 208 g de cal) com fibras de lã de ovelha nas proporções de 2, 5 e 7% em massa em relação aos materiais secos. Para manter a trabalhabilidade, na mistura de referência, a quantidade de água foi de 472 g, já nas argamassas com adição de 2, 5 e 7%, esse valor foi de 745, 1.009 e 1.215 g, respectivamente.

Rosato et al. (2017) trabalharam com argamassa com proporção cal hidráulica natural NHL3,5:areia de 1:2 e fibras de celulose nos teores de 0,1, 0,25 e 0,5% em relação à quantidade de massa de água, sendo que na mistura de referência foram utilizados 342 g de água e nas outras 352, 362 e 372 gramas, respectivamente, mantendo a trabalhabilidade entre 160 e 170 mm.

A Figura 18 é uma representação gráfica dos valores médios para o índice de vazios das argamassas presentes na Tabela 9.

Figura 18 - Índice de vazios dos experimentos.



Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 9 - Índice de vazios (I_v) e massa específica (ρ_s) dos experimentos.

Exp.	I_v (%)		ρ_s (g/cm ³)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Ref.	28,78	0,46	1,85	0,03
1	32,27	0,58	1,76	0,01
2	32,68	0,22	1,75	0,01
3	32,80	0,29	1,74	0,00
4	35,02	0,40	1,67	0,01
5	34,87	0,44	1,70	0,01
6	35,56	0,21	1,68	0,01
7	38,95	0,20	1,58	0,00
8	37,02	0,34	1,64	0,00
9	38,53	0,27	1,60	0,01

Fonte: Do Autor, 2020.

As Tabelas 9, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 26 apresentam as propriedades médias para cada experimento. Os resultados utilizados nos tratamentos estatísticos encontram-se nos apêndices A, B, C, D, E, F, G e H.

A Tabela 10 mostra a análise de variância ANOVA para o índice de vazios das argamassas.

Tabela 10 - Análise de variância ANOVA para o índice de vazios.

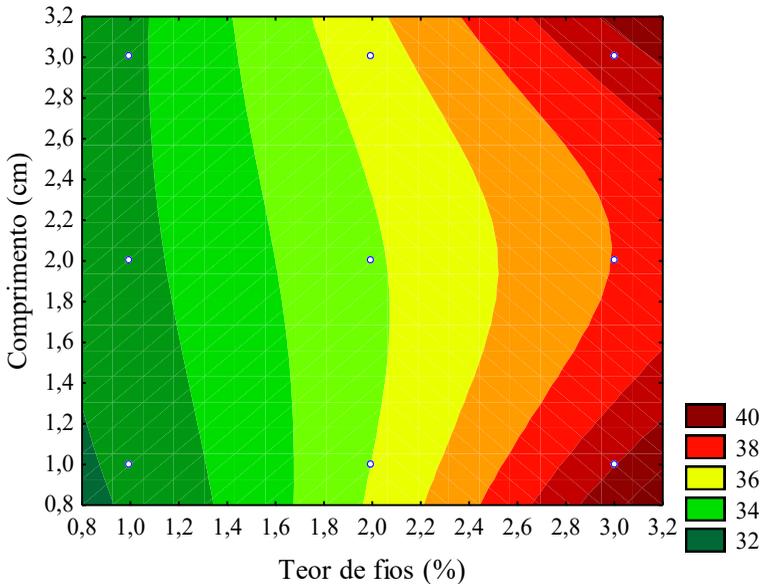
Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de fios (L)	234,0255	1	234,0255	1924,411	0,000000
Teor de fios (Q)	0,5033	1	0,5033	4,138	0,049341
Comprimento (L)	0,3499	1	0,3499	2,877	0,098462
Comprimento (Q)	4,3472	1	4,3472	35,747	0,000001
1L x 2L	1,1329	1	1,1329	9,316	0,004252
1L x 2Q	5,8033	1	5,8033	47,721	0,000000
1Q x 2L	0,3840	1	0,3840	3,158	0,084022
1Q x 2Q	0,2961	1	0,2961	2,434	0,127442
Erro	4,3779	36	0,1216		
Total SS	251,2200	44			
R ²	0,98257				
R ² ajustado	0,9787				
α	0,05				
L = Linear					
Q = Quadrático					
1 = Teor de fios					
2 = Comprimento					

Fonte: Do Autor, 2020.

Embora o fator comprimento (L) e as interações teor de fios (Q) x comprimento (L) e teor de fios (Q) x comprimento (Q) não sejam significativos para a variável resposta índice de vazios ($p > \alpha$, para $\alpha = 0,05$), quando não considerados, o ajuste do modelo foi prejudicado (redução do R²).

A superfície de resposta da Figura 19 indica que o aumento do índice de vazios das argamassas está relacionado com o acréscimo de fios e que o comprimento destes fios tem menor influência sobre esta propriedade.

Figura 19 - Superfície de resposta para o índice de vazios.



Fonte: Do Autor, 2020.

Esse aumento do índice de vazios pode estar ligado à relação água/aglomerante das misturas, pois aquelas com o acréscimo do resíduo precisaram de uma maior quantidade de água para manter a trabalhabilidade. Quando a água é consumida no processo de hidratação ou evaporada, deixa espaços vazios (MÍNGUEZ; VICENTE; GONZÁLEZ, 2019).

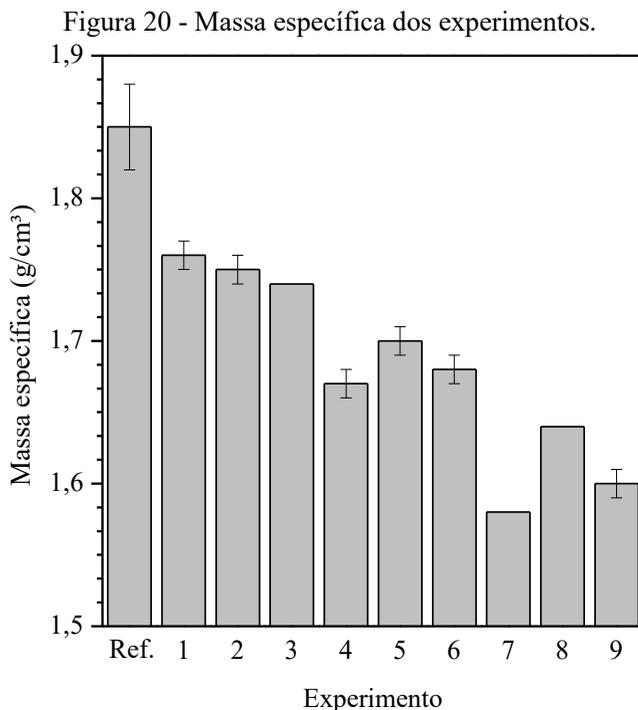
Para os teores de fibras de 1 e 2%, no processo de mistura das argamassas, foi utilizada a mesma proporção de água/aglomerante para os três comprimentos, por isto, na superfície de resposta, não se observa tanta diferença entre os valores de índice de vazios. Já para o teor de fibras de 3% nos tamanhos de 1 e 3 cm, foi adicionada a mesma quantidade de água, enquanto para o comprimento de 2 cm o volume foi menor, provocando o abaloamento da superfície de resposta da Figura 19.

Rosato et al. (2017) observaram um incremento na porosidade de argamassas de 26,38% com 0,1% de fibra de celulose para 29,09% com 0,5%.

Além disso, Mínguez, Vicente e González (2019) verificaram o aumento do índice de vazios com a presença de fibras de aço mesmo

utilizando proporções iguais de água nas argamassas de referência e nas com fibra de aço, pois o material de reforço retém mais o ar.

A Figura 20 traz os resultados médios de massa específica das argamassas anteriormente apresentados na Tabela 9.



Fonte: Do Autor, 2020.

A Tabela 11 traz a análise de variância ANOVA para a massa específica das argamassas. Entre os fatores que não foram significativos para a variável resposta, excluiu-se apenas aquele que, quando desconsiderado, não prejudicou o ajuste do modelo, a interação entre o ter de fios (Q) e o comprimento (L).

Como o índice de vazios e a massa específica são inversamente proporcionais, avaliando a superfície de resposta da Figura 21, os menores valores de massa específica são observados para as argamassas com maiores teores de fios e maiores índices de vazios (segundo a Figura 19). Essa relação também fica evidente na semelhança entre os formatos das superfícies de respostas para as duas variáveis.

Tabela 11 - Análise de variância ANOVA para a massa específica.

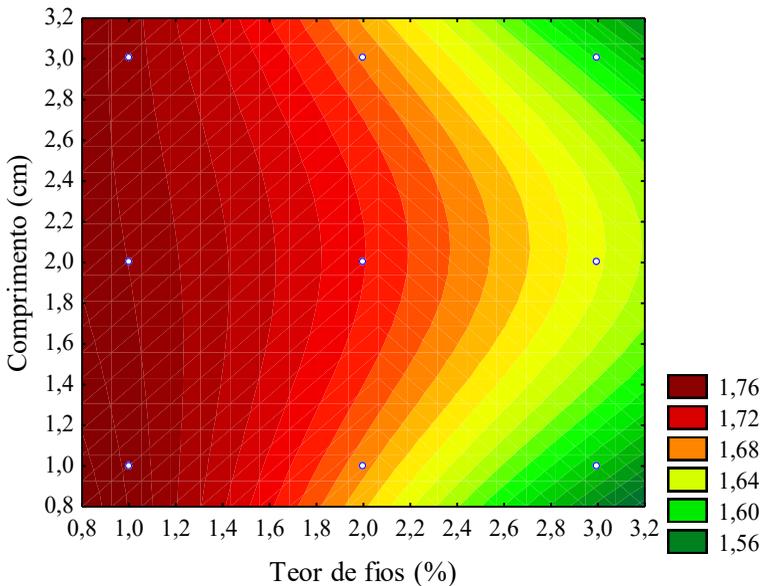
Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de fios (L)	0,154083	1	0,154083	3650,640	0,000000
Teor de fios (Q)	0,000250	1	0,000250	5,923	0,019891
Comprimento (L)	0,000083	1	0,000083	1,974	0,168324
Comprimento (Q)	0,006250	1	0,006250	148,079	0,000000
1L x 2L	0,001125	1	0,001125	26,654	0,000009
1L x 2Q	0,004682	1	0,004682	110,921	0,000000
1Q x 2Q	0,000245	1	0,000245	5,805	0,021076
Erro	0,001562	37	0,000042		
Total SS	0,168280	44			

R² 0,99072
R² ajustado 0,98896
 α 0,05

L = Linear
Q = Quadrático
1 = Teor de fios
2 = Comprimento

Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 21 - Superfície de resposta para a massa específica.



Fonte: Do Autor, 2020.

Além disso, como a massa específica dos fios ($1,56 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$) é menor que a do cimento ($2,78 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$), da cal hidráulica ($2,68 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$) e da areia ($2,46 \text{ g/cm}^3$), ela contribui para a redução da massa específica das argamassas com maiores quantidades de resíduo.

Vantadori, Carpinteri e Zanichelli (2019) também observaram essa diminuição ao trabalharem com fibras de malha de tamareira, com densidade de 1.300 a 1.450 kg/m^3 , em proporções volumétricas de 2, 4, 6, 8 e 10% em relação ao volume produzido de argamassa, mantendo a mesma quantidade de água. Para a mistura com o menor teor de adição, o valor encontrado para a massa específica foi de $2.618,89 \text{ kg/m}^3$ e para a com 10%, foi de $2.470,45 \text{ kg/m}^3$.

Coppola et al. (2018) destacam a importância do uso de materiais mais leves nas construções por possibilitarem a redução das cargas na estrutura.

A Tabela 12 apresenta os resultados de absorção de água e coeficiente de capilaridade das argamassas.

Tabela 12 - Absorção de água por capilaridade (A_{10} e A_{90}) e coeficiente de capilaridade (C) dos experimentos.

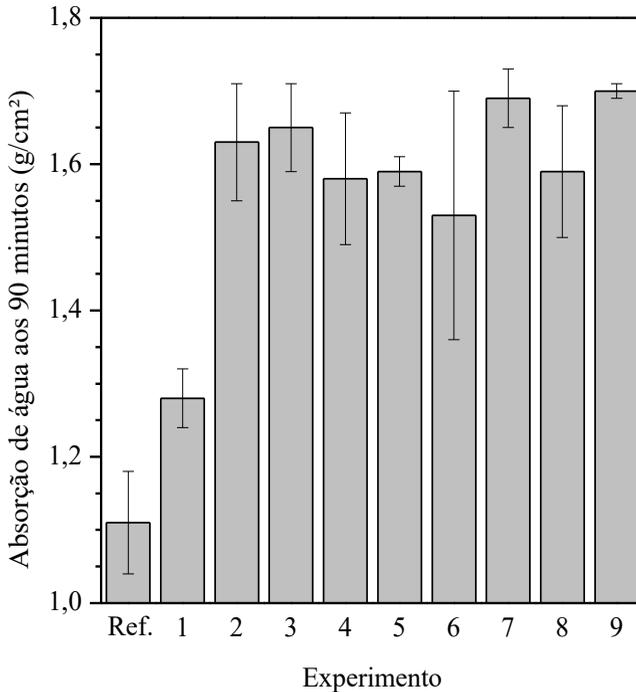
Exp.	A_{10}	A_{10}	A_{90}	A_{90}	C	C
	(g/cm^2) Média	(g/cm^2) Desvio Padrão	(g/cm^2) Média	(g/cm^2) Desvio Padrão	($\text{g/dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$) Média	($\text{g/dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$) Desvio Padrão
Ref.	0,42	0,06	1,11	0,07	10,96	0,30
1	0,47	0,02	1,28	0,04	12,93	0,31
2	0,59	0,06	1,63	0,08	16,71	0,38
3	0,64	0,05	1,65	0,06	16,23	0,45
4	0,57	0,07	1,58	0,09	16,04	0,44
5	0,55	0,02	1,59	0,02	16,68	0,29
6	0,53	0,11	1,53	0,17	15,91	1,11
7	0,52	0,02	1,69	0,04	18,60	0,48
8	0,51	0,05	1,59	0,09	17,22	0,66
9	0,51	0,02	1,70	0,01	19,04	0,51

Fonte: Do Autor, 2020.

Todas as argamassas foram classificadas pelo coeficiente de capilaridade na maior categoria da norma ABNT NBR 13281 (2005), maior que $10,0 \text{ g/dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$.

A representação gráfica dos valores médios de absorção de água por capilaridade aos 90 minutos das argamassas encontra-se na Figura 22.

Figura 22 - Absorção de água por capilaridade aos 90 minutos dos experimentos.



Fonte: Do Autor, 2020.

A Tabela 13 demonstra a análise de variância ANOVA para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos.

Os melhores valores de R^2 (0,73283) e R^2 ajustado (0,66922) foram alcançados ao se desconsiderar os fatores teor de fios (Q) e comprimento (Q) e a interação entre o teor de fios (Q) e o comprimento (Q), que não foram significativos para a variável resposta absorção de água por capilaridade aos 90 minutos.

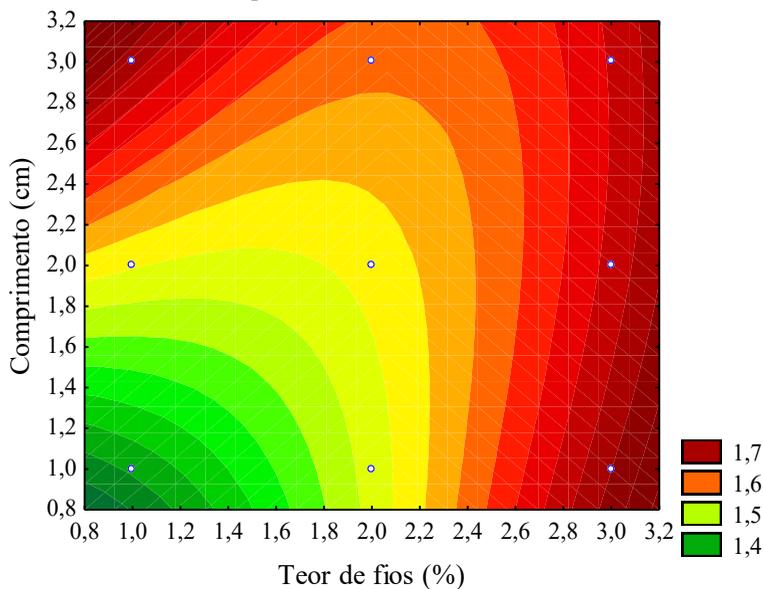
Analisando a superfície de resposta da Figura 23, a absorção de água por capilaridade é menor para as amostras com o menor teor de fios do tecido e menor comprimento, sendo que para 1 e 2% de adição, o tamanho dos fios interferiu de forma negativa. Como a absorção de água se deu por capilaridade, ela foi facilitada por comprimentos de fios maiores.

Tabela 13 - Análise de variância ANOVA para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de fios (L)	0,086806	1	0,086806	13,45749	0,001431
Comprimento (L)	0,055556	1	0,055556	8,61279	0,007915
1L x 2L	0,093633	1	0,093633	14,51600	0,001022
1L x 2Q	0,074711	1	0,074711	11,58248	0,002677
1Q x 2L	0,060844	1	0,060844	9,43273	0,005794
Erro	0,135457	21	0,006450		
Total SS	0,507007	26			
R ²	0,73283				
R ² ajustado	0,66922				
α	0,05				
L = Linear					
Q = Quadrático					
1 = Teor de fios					
2 = Comprimento					

Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 23 - Superfície de resposta para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos.

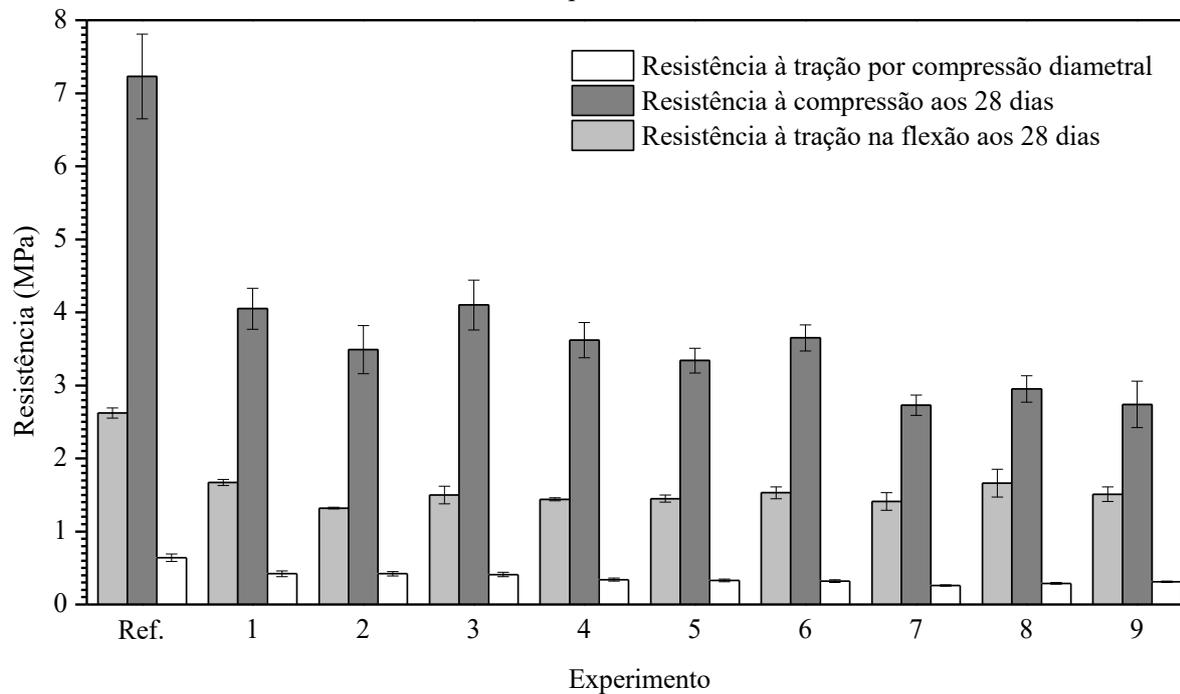


Fonte: Do Autor, 2020.

Já para o teor de resíduo de 3%, a influência do comprimento na absorção foi menor. Como o índice de vazios das amostras com essa quantidade de resíduo foi superior ao das demais misturas, ele é que foi o fator determinante nos resultados de capilaridade. Logo, como o modelo leva em consideração apenas o teor de fios e o comprimento, o R^2 mostra que ele explica somente 73,283% da variável resposta absorção de água aos 90 minutos.

As médias das resistências à tração na flexão aos 28 dias (Tabela 14), à compressão aos 28 dias (Tabela 16) e à tração por compressão diametral das argamassas (Tabela 18) podem ser visualizadas na Figura 24.

Figura 24 - Resistências à tração na flexão aos 28 dias, à compressão aos 28 dias e à tração por compressão diametral dos experimentos.



Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 14 - Resistência à tração na flexão (R_f) dos experimentos aos 28 dias.

Experimento	R_f (MPa)	R_f (MPa)
	Média	Desvio Padrão
Referência	2,62	0,07
1	1,67	0,04
2	1,32	0,01
3	1,50	0,12
4	1,44	0,02
5	1,45	0,05
6	1,53	0,08
7	1,41	0,12
8	1,66	0,19
9	1,51	0,10

Fonte: Do Autor, 2020.

A Tabela 15 expõe a análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão aos 28 dias.

Tabela 15 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão aos 28 dias.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de fios (Q)	0,008817	1	0,008817	1,05765	0,314927
1L x 2L	0,058800	1	0,058800	7,05365	0,014436
1L x 2Q	0,227211	1	0,227211	27,25625	0,000031
1Q x 2L	0,016044	1	0,016044	1,92469	0,179235
Erro	0,183394	22	0,008336		
Total SS	0,494267	26			
R^2	0,62896				
R^2 ajustado	0,56149				
α	0,05				
L = Linear					
Q = Quadrático					
1 = Teor de fios					
2 = Comprimento					

Fonte: Do Autor, 2020.

Analisando os resultados da Tabela 14, todas as argamassas atenderam ao mínimo do requisito exigido pela ABNT NBR 13281 (2005) de 1,0 MPa.

Tabela 16 - Resistência à compressão (R_c) dos experimentos aos 28 dias.

Experimento	R_c (MPa)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	7,23	0,58
1	4,05	0,28
2	3,49	0,33
3	4,10	0,34
4	3,62	0,24
5	3,34	0,17
6	3,65	0,18
7	2,73	0,14
8	2,95	0,18
9	2,74	0,32

Fonte: Do Autor, 2020.

De acordo com os requisitos da ABNT NBR 13281 (2005), todas as argamassas atingiram a resistência mínima de 1,5 MPa.

Tabela 17 - Análise de variância ANOVA para a resistência à compressão aos 28 dias.

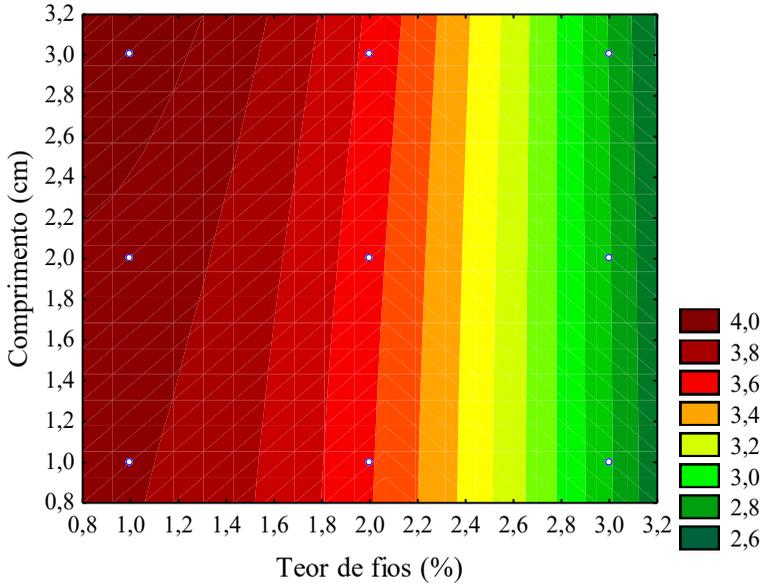
Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de fios (L)	17,30214	1	17,30214	283,4513	0,000000
Teor de fios (Q)	0,77618	1	0,77618	12,7157	0,000598
Comprimento (Q)	1,01250	1	1,01250	16,5872	0,000104
1L x 2Q	2,11471	1	2,11471	34,6441	0,000000
Erro	5,18848	85	0,06104		
Total SS	26,39401	29			
R^2	0,80342				
R^2 ajustado	0,79417				
α	0,05				
L = Linear					
Q = Quadrático					
1 = Teor de fios					
2 = Comprimento					

Fonte: Do Autor, 2020.

Neste caso, melhores valores de R^2 (0,80342) e R^2 ajustado (0,79417) foram atingidos com a exclusão de todas as interações e fator que não foram significativos para a variável resposta de resistência à compressão aos 28 dias.

A superfície de resposta da Figura 26 mostra que a resistência à compressão das argamassas diminuiu com o acréscimo dos fios e que a propriedade foi pouco afetada pelo comprimento deles.

Figura 26 - Superfície de resposta para a resistência à compressão aos 28 dias.



Fonte: Do Autor, 2020.

Como as argamassas com a presença dos fios são mais porosas, por conta da evaporação da água (elevada relação água/aglomerante), seus valores de resistência à compressão diminuíram (KESIKIDOU; STEFANIDOU, 2019). Por isso, de acordo com o R^2 , o modelo explica somente 80,342% da variável resposta resistência à compressão aos 28 dias, já que leva em consideração apenas o teor de fios e o comprimento.

Essa redução também foi observada por Cardinale et al. (2017), quando as misturas com 5% de adição de lã de ovelha tiveram uma resistência à compressão de 0,4 MPa e a argamassa com 2%, 2,9 MPa. Assim como Rosato et al. (2017), cujos valores foram de 3,27, 2,82 e 2,44 MPa para as argamassas com 0,1, 0,25 e 0,5% de fibras de celulose, respectivamente.

Outros trabalhos que mantiveram a mesma quantidade de água em todas as misturas, variando os teores de fibras, também verificaram a

diminuição da resistência à compressão com o aumento da quantidade de material de reforço (RAMIRÉZ et al., 2019; DONNINI; BELLEZZE; CORINALDESI, 2018).

As Tabelas 18 e 19 trazem, respectivamente, os resultados de resistência à tração por compressão diametral das argamassas e a análise de variância ANOVA para esta propriedade.

Tabela 18 - Resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$) dos experimentos.

Experimento	$f_{ct,sp}$ (MPa)	$f_{ct,sp}$ (MPa)
	Média	Desvio Padrão
Referência	0,64	0,05
1	0,42	0,04
2	0,42	0,03
3	0,41	0,03
4	0,34	0,02
5	0,33	0,02
6	0,32	0,02
7	0,26	0,01
8	0,29	0,01
9	0,31	0,01

Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 19 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração por compressão diametral.

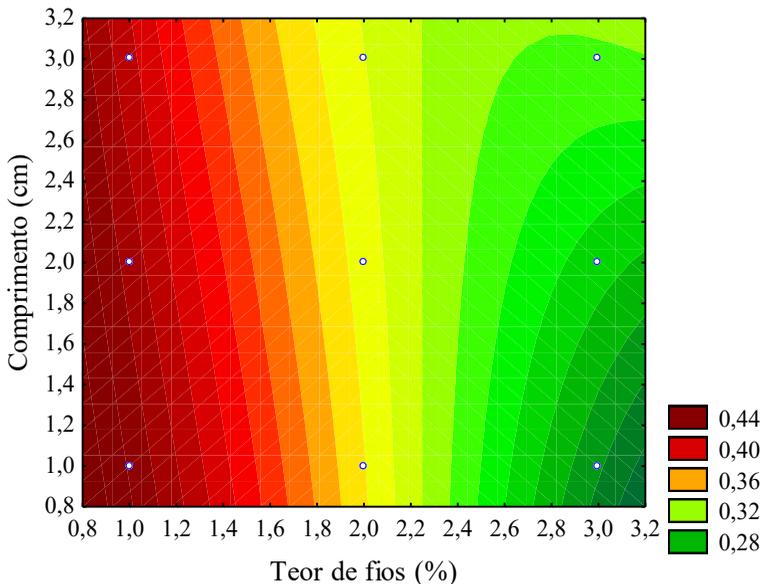
Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de fios (L)	0,129363	1	0,129363	257,1836	0,000000
Teor de fios (Q)	0,002250	1	0,002250	4,4732	0,040710
1L x 2L	0,005120	1	0,005120	10,1789	0,002762
1Q x 2L	0,002667	1	0,002667	5,3015	0,026590
Erro	0,020120	40	0,000503		
Total SS	0,159520	49			
R^2	0,87387				
R^2 ajustado	0,86126				
α	0,05				
L = Linear					
Q = Quadrático					
1 = Teor de fios					
2 = Comprimento					

Fonte: Do Autor, 2020.

Removeram-se todas as interações e fatores que não foram significativos para a variável resposta.

A superfície de resposta da Figura 27 indica que a resistência à tração por compressão diametral das argamassas reduz com a adição dos fios do tecido e que o comprimento dos fios teve pouca influência sobre esta propriedade. Assim como para a resistência à compressão simples, a porosidade das argamassas foi responsável pela redução e o modelo explica somente 87,387% da variável resposta.

Figura 27 - Superfície de resposta para a resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Do Autor, 2020.

As médias de resistência de aderência à tração das argamassas estão expostas na Tabela 20 e na Figura 28.

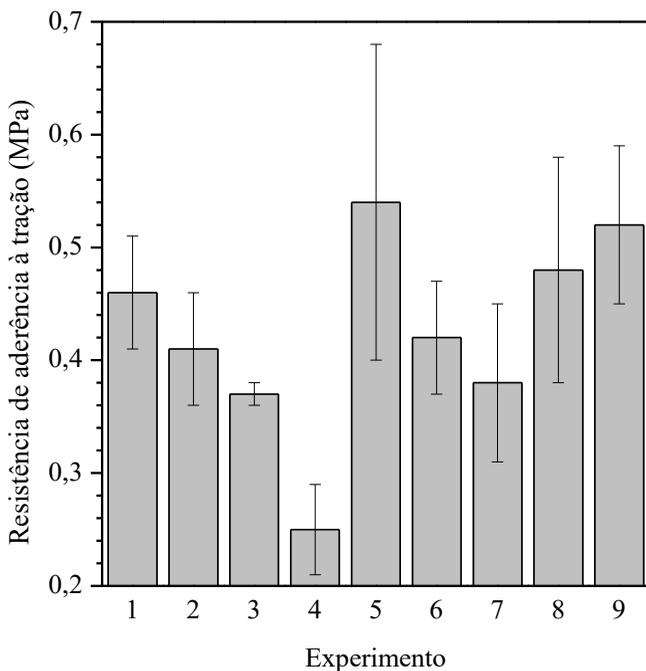
Todas as argamassas com fios do tecido aderiram ao substrato, já a mistura de referência descolou do bloco cerâmico no momento do corte. O resíduo faz com que a água fique retida na mistura, melhorando a aderência (VAZ; CARASEK, 2019), pois segundo Carasek (2007), a ancoragem da pasta nos poros ocorre por meio da absorção da água que contém os aglomerantes pela base em que acontece o seu endurecimento.

Tabela 20 - Resistência de aderência à tração (Ra) dos experimentos.

Experimento	Ra (MPa)	
	Média	Desvio Padrão
1	0,46	0,05
2	0,41	0,05
3	0,37	0,01
4	0,25	0,04
5	0,54	0,14
6	0,42	0,05
7	0,38	0,07
8	0,48	0,10
9	0,52	0,07

Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 28 - Resistência de aderência à tração dos experimentos.

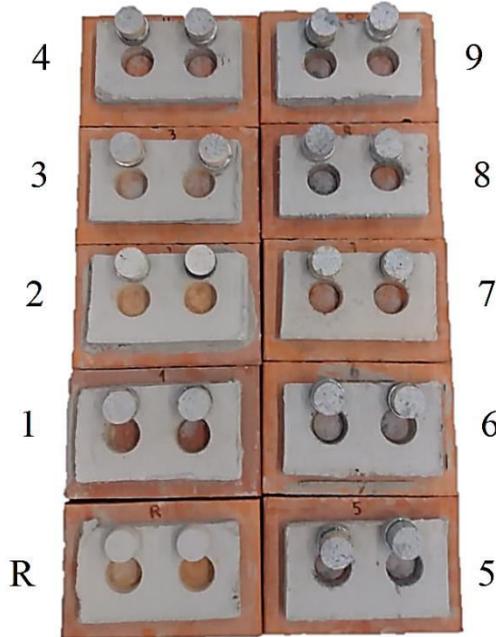


Fonte: Do Autor, 2020.

A forma de ruptura, na maioria dos casos, foi do tipo B (Figura 11), na interface entre o substrato e a argamassa (Figura 29), indicando

que as argamassas com os fios aderem à superfície do bloco, mesmo que este apresente baixa rugosidade.

Figura 29 - Ruptura das argamassas no ensaio de resistência de aderência à tração.



Fonte: Do Autor, 2020.

De acordo com a ABNT NBR 13749 (2013), a resistência mínima de aderência de argamassas para partes externas é de 0,30 MPa. Com exceção da mistura 4, que não atingiu a especificação, as demais atingiram valores entre 0,37 e 0,54 MPa.

Como no furo 7.2 a amostra se desprendeu no momento do corte e no 6.3 a ruptura ocorreu na cola, retiraram-se os valores mais baixos de resistência para as demais amostras do Apêndice F para igualar o número de corpos de prova.

A Tabela 21 apresenta a análise de variância ANOVA para a resistência de aderência à tração das argamassas.

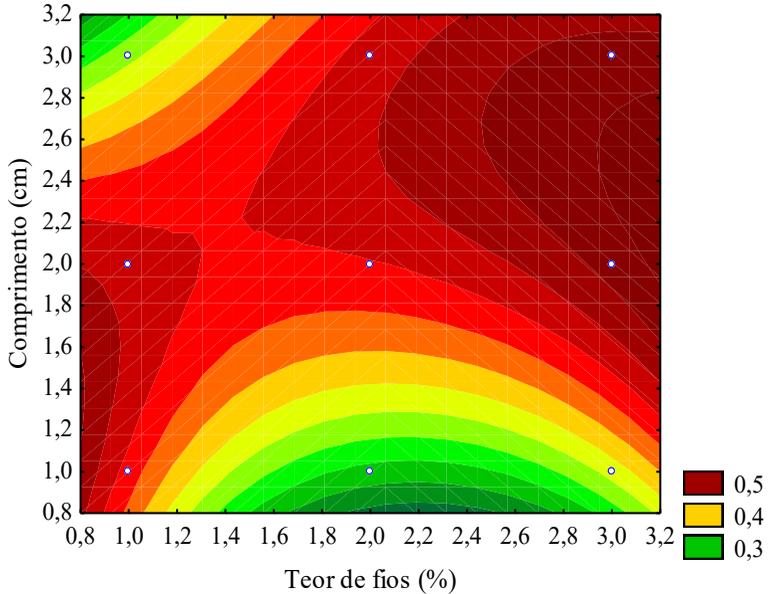
Tabela 21 - Análise de variância ANOVA para a resistência de aderência à tração.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de fios (L)	0,009339	1	0,009339	1,88609	0,185634
Teor de fios (Q)	0,008313	1	0,008313	1,67889	0,210593
Comprimento (L)	0,024939	1	0,024939	5,03667	0,036922
Comprimento (Q)	0,031780	1	0,031780	6,41823	0,020258
1L x 2L	0,045633	1	0,045633	9,21613	0,006800
1Q x 2L	0,020544	1	0,020544	4,14917	0,055832
1Q x 2Q	0,052448	1	0,052448	10,59246	0,004170
Erro	0,094078	19	0,004951		
Total SS	0,287074	26			
R ²	0,67229				
R ² ajustado	0,55155				
α	0,05				
L = Linear					
Q = Quadrático					
1 = Teor de fios					
2 = Comprimento					

Fonte: Do Autor, 2020.

A superfície de resposta da Figura 30 sugere que ao se trabalhar com menores teores, os fios mais curtos são os mais indicados e, conforme a quantidade de resíduo aumenta, os de maior comprimento são os que possibilitam maiores valores de resistência de aderência à tração. Esse comportamento é similar ao que ocorreu na tração na flexão.

Figura 30 - Superfície de resposta para a resistência de aderência à tração.



5.2.1 Avaliação da durabilidade

Para verificar se existe diferença entre a resistência mecânica das argamassas aos 28 e após 150 dias de exposição às intempéries, aplicaram-se testes estatísticos ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e adotaram-se como hipóteses:

Teste F

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$; a variância da resistência mecânica da amostra aos 28 dias (σ_1^2) é igual à variância da resistência mecânica da amostra aos 150 dias (σ_2^2).

$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$; a variância da resistência mecânica da amostra aos 28 dias (σ_1^2) é diferente da variância da resistência mecânica da amostra aos 150 dias (σ_2^2).

Teste t

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$; a média da resistência mecânica da amostra aos 28 dias (μ_1) é igual à média da resistência mecânica da amostra aos 150 dias (μ_2).

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$; a média da resistência mecânica da amostra aos 28 dias (μ_1) é diferente da média da resistência mecânica da amostra aos 150 dias (μ_2).

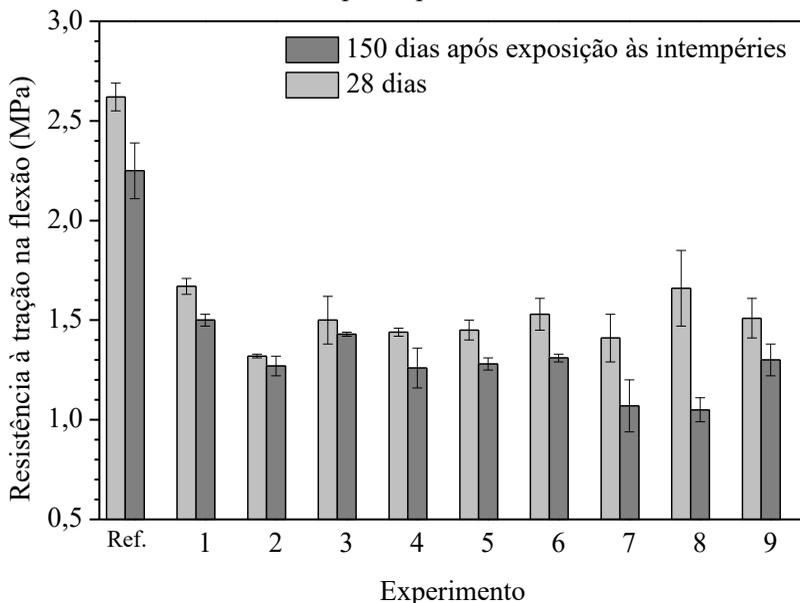
A resistência à tração na flexão das argamassas após 150 dias de exposição às intempéries encontra-se na Tabela 22. A comparação com os resultados aos 28 dias poder ser vista na Figura 31.

Tabela 22 - Resistência à tração na flexão (R_f) dos experimentos após 150 dias de exposição às intempéries.

Experimento	R_f (MPa)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	2,25	0,14
1	1,50	0,03
2	1,27	0,05
3	1,43	0,01
4	1,26	0,10
5	1,28	0,03
6	1,31	0,02
7	1,07	0,13
8	1,05	0,06
9	1,30	0,08

Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 31 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias e após exposição às intempéries por 150 dias.



Fonte: Do Autor, 2020.

As análises estatísticas para a resistência à tração na flexão encontram-se nas Tabelas 23, 24 e 25.

Tabela 23 - Teste F: duas amostras para variâncias (resistência à tração na flexão).

σ_1^2 (28 dias)	σ_2^2 (150 dias)	F	p
Referência	Referência	0,2398042	0,3868421
Experimento 1	Experimento 1	1,310603	0,8655748
Experimento 2	Experimento 2	0,04395604	0,08421053
Experimento 3	Experimento 3	44,77778	0,04368932
Experimento 4	Experimento 4	0,03429425	0,0663143
Experimento 5	Experimento 5	3,323336	0,4626057
Experimento 6	Experimento 6	23,10792	0,08296028
Experimento 7	Experimento 7	0,8754716	0,9336016
Experimento 8	Experimento 8	9,435265	0,1916578
Experimento 9	Experimento 9	1,636843	0,7584829

Fonte: Do Autor, 2020.

Na Tabela 23, para todas as comparações, exceto para o experimento 3, $p > \alpha$, sendo $\alpha = 0,05$. Então, aceita-se H_0 , pois não há evidências estatísticas de que as variâncias não são equivalentes. Logo, o Teste t pressupõe equivalência. Para o experimento 3, rejeita-se H_0 , aplicando o Teste t para variâncias diferentes.

Tabela 24 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes (resistência à tração na flexão).

μ_1 (28 dias)	μ_2 (150 dias)	t	p
Referência	Referência	4,098941	0,01486591
Experimento 1	Experimento 1	5,717008	0,004631326
Experimento 2	Experimento 2	1,333772	0,2531571
Experimento 4	Experimento 4	3,074244	0,03713911
Experimento 5	Experimento 5	5,01635	0,007404399
Experimento 6	Experimento 6	4,508831	0,01074966
Experimento 7	Experimento 7	3,159706	0,03419369
Experimento 8	Experimento 8	5,410878	0,005651159
Experimento 9	Experimento 9	2,921047	0,04319823

Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 25 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias não equivalentes (resistência à tração na flexão).

μ_1 (28 dias)	μ_2 (150 dias)	t	p
Experimento 3	Experimento 3	0,9853293	0,4245153

Fonte: Do Autor, 2020.

Nas Tabelas 24 e 25, o valor $p > \alpha$ para a comparação entre a resistência à tração na flexão das amostras aos 28 e 150 dias para os experimentos 2 e 3 indica que não há evidências estatísticas de que as médias são diferentes. Aceita-se H_0 .

Para as demais situações (referência e experimentos 1, 4, 5, 6, 7, 8 e 9), rejeita-se H_0 . Os valores $p < \alpha$ comprovam que há evidências estatísticas de que as médias de resistência à tração na flexão aos 28 dias são diferentes das médias aos 150 dias. Com base nas Tabelas 14 e 22, deduz-se que a resistência aos 28 dias é superior aos 150 dias.

Os materiais à base de cal apresentam grande expansão na presença de água, sendo afetados por ciclos de secagem e umidade (KANAN, 2008). Essas alterações podem gerar fissuras, afetando a resistência mecânica das argamassas no decorrer do tempo.

Os experimentos para os quais não se observou diferença entre as médias foram os de menores índices de vazios que, consequentemente,

absorveram menos água, e os de fios do tecido mais longos que, conseguiram evitar a propagação das fissuras. As fibras melhoram o desempenho das argamassas pós-fissuração (RALEGAONKAR et al., 2018).

A Tabela 26 exibe os resultados de resistência à compressão das argamassas após 150 dias de exposição às intempéries. A comparação com os resultados aos 28 dias pode ser vista na Figura 32.

Tabela 26 - Resistência à compressão (R_c) dos experimentos após 150 dias de exposição às intempéries.

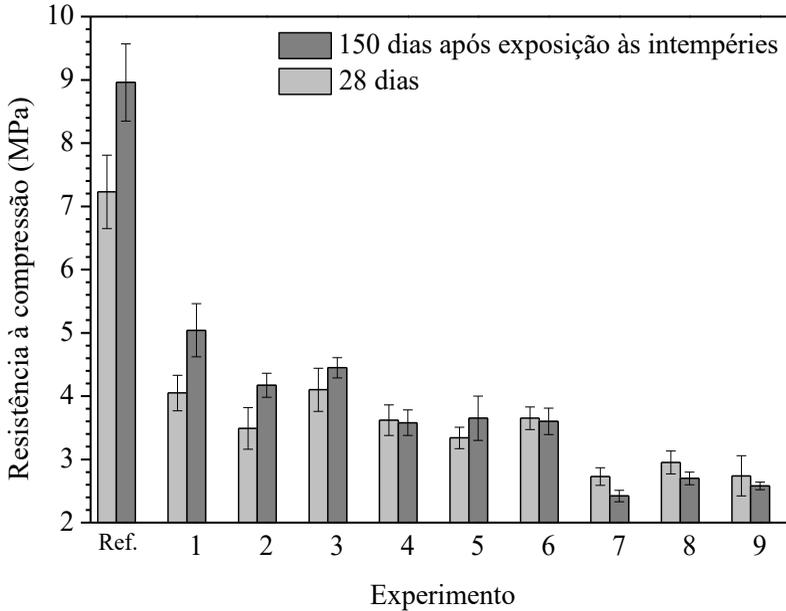
Experimento	R_c (MPa)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	8,96	0,61
1	5,04	0,42
2	4,17	0,19
3	4,45	0,16
4	3,58	0,20
5	3,65	0,35
6	3,60	0,21
7	2,42	0,09
8	2,70	0,10
9	2,58	0,06

Fonte: Do Autor, 2020.

As análises estatísticas para a resistência à compressão estão nas Tabelas 27, 28 e 29.

Na Tabela 27, para todas as comparações, exceto para os experimentos 5 e 9, $p > \alpha$, sendo $\alpha = 0,05$. Então, aceita-se H_0 , pois não há evidências estatísticas de que as variâncias não são equivalentes. Logo, o Teste t pressupõe equivalência. Para os experimentos 5 e 9, rejeita-se H_0 , aplicando o Teste t para variâncias diferentes.

Figura 32 - Resistência à compressão aos 28 dias e após exposição às intempéries por 150 dias.



Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 27 - Teste F: duas amostras para variâncias (resistência à compressão).

σ_1^2 (28 dias)	σ_2^2 (150 dias)	F	p
Referência	Referência	0,9010413	0,8791874
Experimento 1	Experimento 1	0,4257782	0,2194154
Experimento 2	Experimento 2	2,912795	0,1270335
Experimento 3	Experimento 3	3,922565	0,05413936
Experimento 4	Experimento 4	1,376005	0,6421235
Experimento 5	Experimento 5	0,2243638	0,03638168
Experimento 6	Experimento 6	0,718776	0,6307225
Experimento 7	Experimento 7	2,650741	0,1626215
Experimento 8	Experimento 8	3,507129	0,07555551
Experimento 9	Experimento 9	30,08386	$2,32 \times 10^{-5}$

Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 28 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes (resistência à compressão).

μ_1 (28 dias)	μ_2 (150 dias)	t	p
Referência	Referência	-6,469582	$4,37 \times 10^{-6}$
Experimento 1	Experimento 1	-6,185749	$7,72 \times 10^{-6}$
Experimento 2	Experimento 2	-5,612014	$2,52 \times 10^{-5}$
Experimento 3	Experimento 3	-2,961019	0,008364399
Experimento 4	Experimento 4	0,4367254	0,6675043
Experimento 6	Experimento 6	0,618902	0,5437349
Experimento 7	Experimento 7	5,857738	$1,51 \times 10^{-5}$
Experimento 8	Experimento 8	3,836701	0,001208402

Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 29 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias não equivalentes (resistência à compressão).

μ_1 (28 dias)	μ_2 (150 dias)	t	p
Experimento 5	Experimento 5	-2,536162	0,02501933
Experimento 9	Experimento 9	1,547292	0,1541034

Fonte: Do Autor, 2020.

Nas Tabelas 28 e 29, o valor $p < \alpha$ para a comparação entre a resistência à compressão das amostras aos 28 e 150 dias para a referência e os experimentos 1, 2, 3, 5, 7 e 8 indica que há evidências estatísticas de que as médias são diferentes. Rejeita-se H_0 .

Com base nas Tabelas 16 e 26, supõe-se que a resistência dos corpos de prova aos 28 dias é inferior aos 150 dias para as amostras de referência, 1, 2, 3 e 5 e é superior para a 7 e 8.

Para as demais situações (experimentos 4, 6 e 9), aceita-se H_0 . Os valores $p > \alpha$ comprovam que não há evidências estatísticas de que as médias de resistência à compressão aos 28 dias são diferentes das médias aos 150 dias.

Segundo Neville (2016), a resistência de materiais cimentícios depende da idade, pois aumenta com o progresso da hidratação. Para a cal hidráulica, seu endurecimento ocorre tanto na água quanto no ar, primeiramente pela hidratação dos silicatos e aluminatos de cálcio e depois pelo processo de carbonatação, onde o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) reage com o dióxido de carbono formando carbonato de cálcio (CaCO_3) e água (COELHO; TORGAL; JALALI, 2009; BAUER; BAUER, 2008).

A umidade do ar tem grande influência nesse processo, pois a reação não ocorre sem a presença de água. Por outro lado, o ar seco

favorece a penetração do CO₂, porém não há água para dissolver o hidróxido de cálcio. Já quando a argamassa está saturada, o dióxido de carbono não consegue penetrar, não acontecendo a carbonatação (BAUER; BAUER, 2008).

As argamassas para as quais não ocorreu o aumento da resistência foram as que apresentaram maiores índices de vazios e que, conseqüentemente, absorveram grande quantidade de água ao longo do tempo em que ficaram expostas às intempéries, dificultando a entrada de gás carbônico para formar o carbonato de cálcio e assim, ganhar resistência.

Grilo et al. (2014) testaram três condições de cura para argamassa com traço em massa de 1:5 (cal hidráulica natural NHL3,5:areia), sendo uma em ambiente marinho, outra em cura úmida controlada laboratorialmente com temperatura de 21 ± 2 °C e umidade relativa de $95 \pm 5\%$ e a terceira cura padrão controlada laboratorialmente em temperatura de 20 ± 3 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$. Aos 28 dias, as misturas apresentaram resistência de $1,19 \pm 0,14$ MPa, $1,51 \pm 0,16$ MPa e $1,01 \pm 0,02$ MPa, respectivamente, e aos 180 dias de $2,54 \pm 0,37$ MPa, $2,50 \pm 0,12$ MPa e $1,14 \pm 0,13$ MPa. Nem mesmo o terceiro método de cura (padrão), controlado laboratorialmente, resultou em argamassas de maior resistência após os 28 dias.

Lanas et al. (2004) produziram argamassas com traço de 1:5 (cal hidráulica HL5:areia) em volume e testaram a resistência à tração na flexão em diferentes tempos de cura em laboratório (umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e temperatura de 20 ± 5 °C), sendo eles de 3, 7, 28, 91, 182 e 365 dias. Os autores não observaram mudanças na resistência à compressão após os 28 dias.

5.2.2 Ensaio térmico

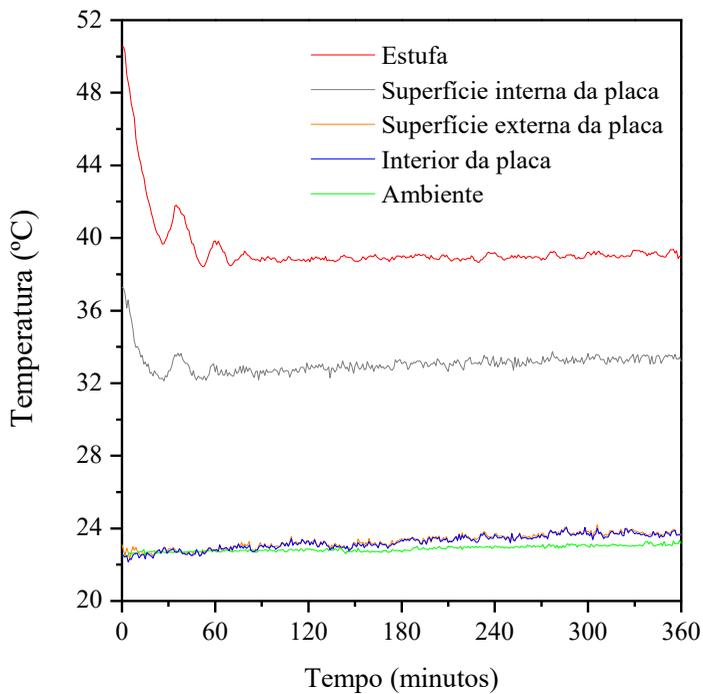
Nos ensaios térmicos, para comparação com a referência, escolheu-se o experimento 9, por ele apresentar os melhores resultados nos ensaios de resistência de aderência e tração na flexão, além do maior teor de fios do tecido.

As Figuras 33 e 34 mostram a variação de temperatura ao longo das 6 horas de ensaio a 40 °C para a mistura de referência e com o resíduo, respectivamente.

Nos primeiros 60 minutos, a temperatura da estufa e da placa interna sofreu alterações até a estabilização, no restante do experimento, a superfície interna da placa ficou entre 33 e 34 °C, tanto para a

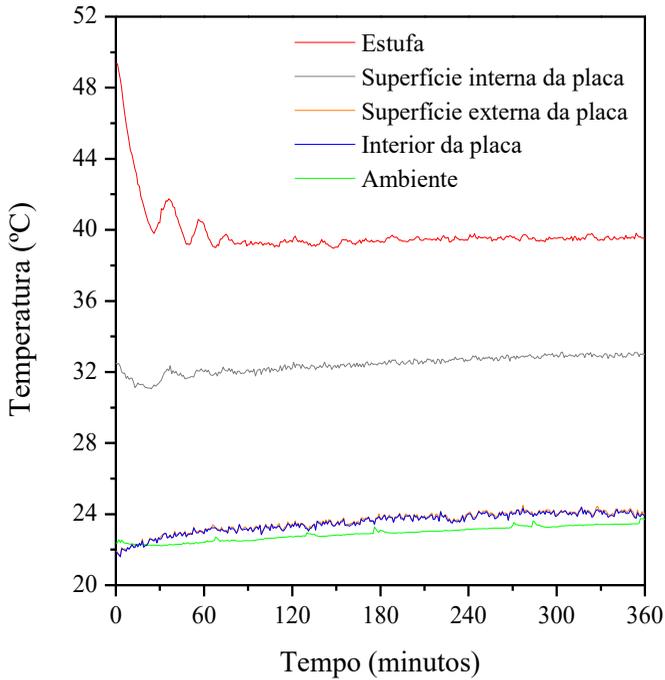
argamassa de referência quanto para a com o resíduo. As temperaturas dos demais pontos avaliados ficaram próximas à do ambiente.

Figura 33 - Resultados do ensaio térmico para a placa de referência a 40 °C.



Fonte: Do Autor, 2020.

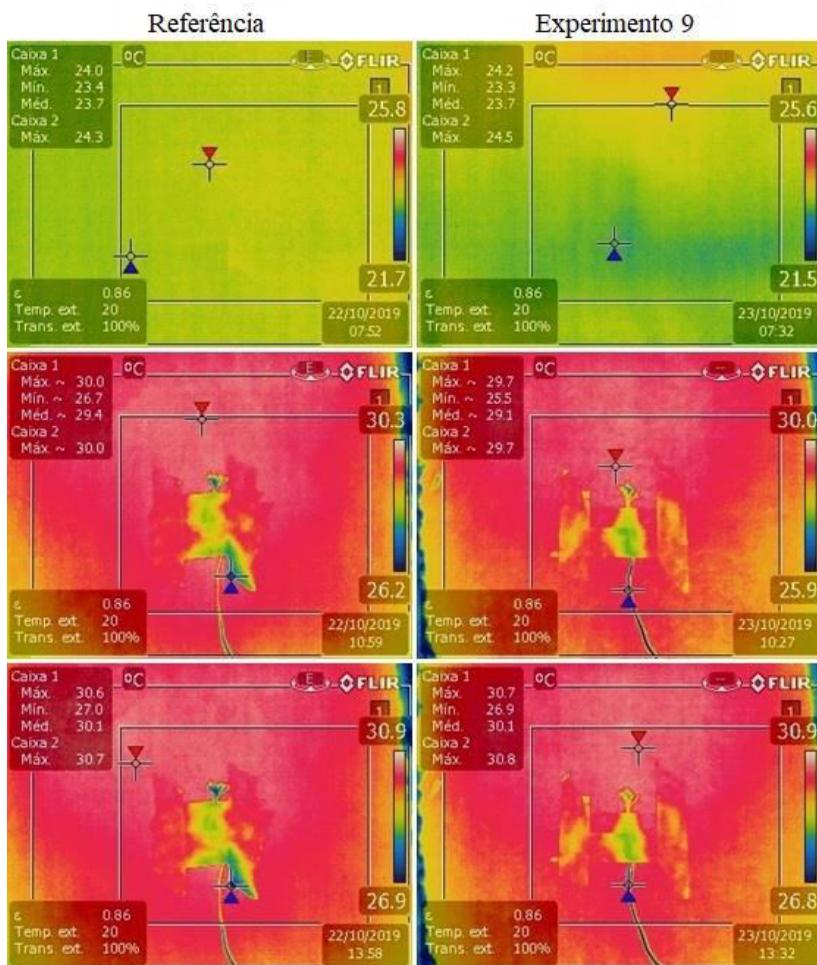
Figura 34 - Resultados do ensaio térmico para a placa com fios do tecido a 40 °C.



Fonte: Do Autor, 2020.

Na Figura 35, observa-se que nas três primeiras horas e ao término do ensaio, as duas placas de argamassa atingiram a mesma temperatura. Logo, o resíduo adicionado à mistura não teve influência.

Figura 35 - Fotos termográficas das placas a 40 °C.



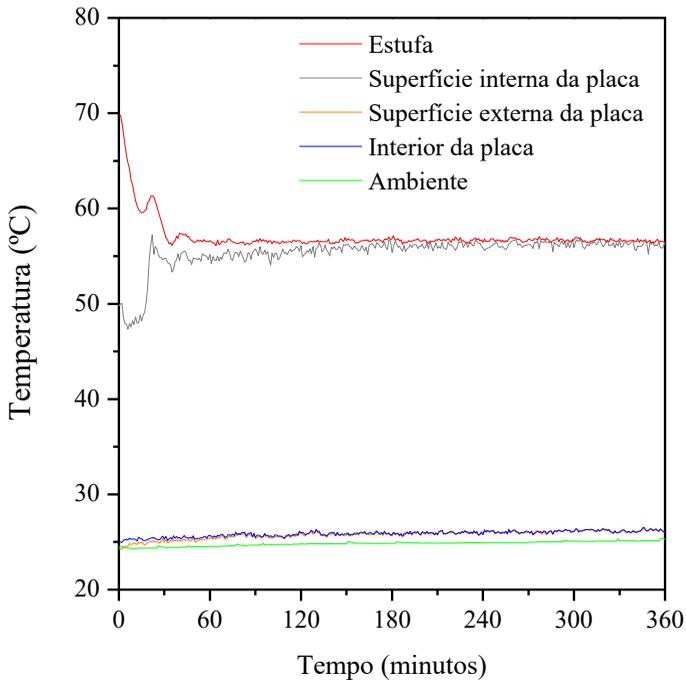
Fonte: Do Autor, 2020.

Já para os ensaios realizados a 60 °C (Figuras 36 e 37), os termopares da superfície externa e do interior da placa continuaram registrando temperaturas próximas à do ambiente, em torno de 25 °C, demonstrando que a transferência de calor da parte interna para a externa é muito pequena.

Assim como a 40 °C, na primeira hora do experimento, a temperatura da estufa variou até a estabilização, entre 55 e 60 °C. No restante do tempo, as temperaturas mantiveram-se constantes.

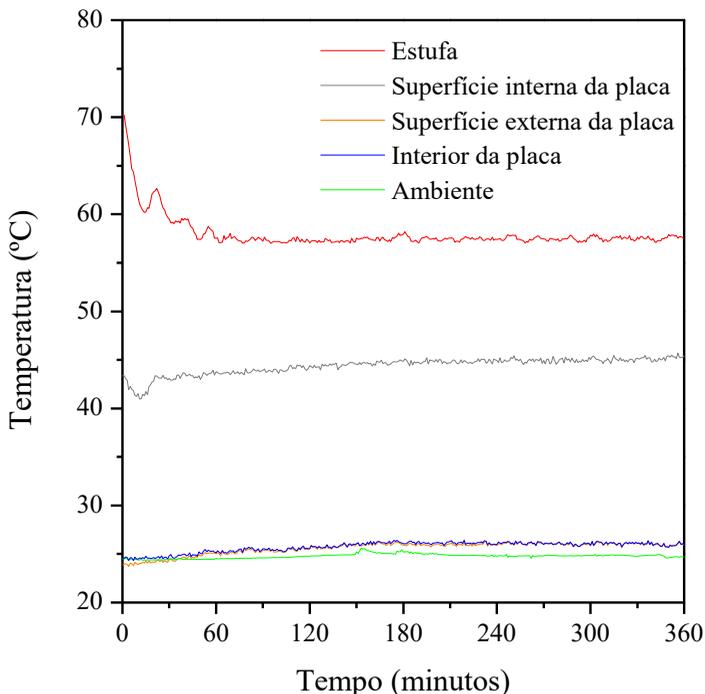
Quando comparada a temperatura das superfícies internas das placas, que estavam em contato com o interior da estufa, nota-se uma diferença significativa. Enquanto a da referência, ao final do ensaio, se equiparou à da estufa, a da mistura com 3% do resíduo ficou cerca de 12 °C abaixo.

Figura 36 - Resultados do ensaio térmico para a placa de referência a 60 °C.



Fonte: Do Autor, 2020.

Figura 37 - Resultados do ensaio térmico para a placa com fios do tecido a 60 °C.



Fonte: Do Autor, 2020.

A Figura 38 traz as fotos termográficas registradas durante o ensaio à temperatura de 60 °C.

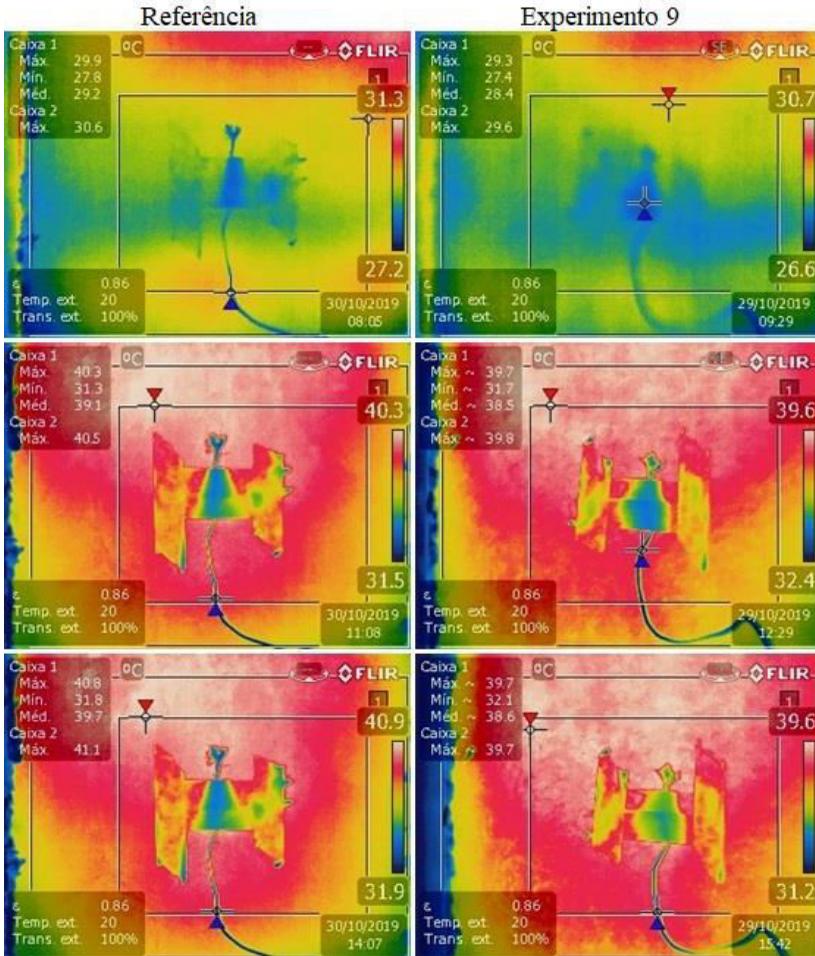
Ao final das primeiras três horas, a temperatura registrada para a argamassa de referência foi superior em 0,7 °C em relação à daquela que continha os fios do tecido. Passadas mais três horas, essa diferença subiu para 1,3 °C. Além do conforto térmico, as alternativas de isolamento aumentam a durabilidade dos materiais, pois protegem as paredes e estruturas das variações térmicas (MALANHO; VEIGA, 2020).

Essa diferença pode estar relacionada com o resíduo, que provavelmente reduziu a condutividade térmica, e também com a porosidade das argamassas, já que a de referência apresentou um índice de vazios de $28,78 \pm 0,46\%$ e a com os fios do tecido de $38,53 \pm 0,27\%$.

Segundo Mendes et al. (2019), a condutividade térmica está associada com a porosidade e a distribuição do tamanho dos poros, sendo que quanto maior a quantidade de poros com dimensões

inferiores, menor é esta propriedade, pois a condutividade térmica do ar é pequena ($0,025 \text{ W/mK}$).

Figura 38 - Fotos termográficas das placas a 60°C .



Fonte: Do Autor, 2020.

Palomar, Barluenga e Puentes (2015) avaliaram a condutividade térmica de argamassas contendo fibras de celulose de 1 mm de comprimento, em proporções de 1,5 e 3,0% em relação ao volume total

da mistura, com um traço volumétrico de 1:1:6 (cimento:cal:areia) e relação água/aglomerante de 0,56.

A argamassa de referência, com 17,83% de porosidade, apresentou condutividade térmica de 0,368 W/mK, enquanto a com 1,5% de fibra e 16,42% de porosidade, 0,190 W/mK e a com 3,0% de fibra e 16,22% de porosidade, 0,429 W/mK. Esses resultados demonstram que o teor de fibra influencia nas propriedades térmicas.

5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Para comparar os resultados dos ensaios das amostras com resíduo com a argamassa de referência, novamente escolheu-se o experimento 9, tanto por conciliar os melhores valores de resistências de aderência e tração na flexão em relação às outras amostras, quanto por ter apresentado desempenho satisfatório no ensaio térmico.

Para verificar se existe diferença entre os resultados alcançados para a argamassa de referência e para a mistura com o resíduo, aplicaram-se testes estatísticos ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e adotaram-se como hipóteses:

Teste F

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$; a variância da amostra de referência (σ_1^2) é igual à variância da amostra do experimento 9 (σ_2^2).

$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$; a variância da amostra de referência (σ_1^2) é diferente da variância da amostra do experimento 9 (σ_2^2).

Teste t

$H_0: \mu_1 = \mu_2$; a média da amostra de referência (μ_1) é igual à média da amostra do experimento 9 (μ_2).

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$; a média da amostra de referência (μ_1) é diferente da média da amostra do experimento 9 (μ_2).

As análises estatísticas para a comparação entre os resultados dos ensaios entre a argamassa de referência e o experimento 9 encontram-se nas Tabelas 30, 31 e 32.

Tabela 30 - Teste F: duas amostras para variâncias.

Ensaio	σ_1^2	σ_2^2	F	p
Índice de vazios			2,884767	0,3293486
Massa específica			12,06959	0,03333413
Absorção aos 10 minutos			9,691842	0,1870585
Absorção aos 90 minutos			27,41866	0,07037628
Coefficiente de capilaridade			0,3558835	0,524947
Tração na flexão (28 dias)	Ref.	Exp. 9	0,5020045	0,6684461
Tração na flexão (150 dias)			3,221035	0,4738174
Compressão (28 dias)			3,40126	0,08256296
Compressão (150 dias)			113,5609	$7,01 \times 10^{-8}$
Tração por compressão diametral			11,66527	0,03543549

Fonte: Do Autor, 2020.

Na Tabela 30, para todas as comparações, exceto para os ensaios de massa específica, compressão aos 150 dias e tração por compressão diametral, $p > \alpha$, sendo $\alpha = 0,05$. Então, aceita-se H_0 , pois não há evidências estatísticas de que as variâncias não são equivalentes. Logo, o Teste t pressupõe equivalência. Para as demais, rejeita-se H_0 , aplicando o Teste t para variâncias diferentes.

Tabela 31 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes.

Ensaio	μ_1	μ_2	t	p
Índice de vazios			-41,18736	$1,33 \times 10^{-10}$
Absorção aos 10 minutos			-2,661254	0,0563167
Absorção aos 90 minutos			-13,64349	0,00016713
Coefficiente de capilaridade	Ref.	Exp. 9	-23,78987	$1,85 \times 10^{-5}$
Tração na flexão (28 dias)			16,01823	$8,88 \times 10^{-5}$
Tração na flexão (150 dias)			10,12828	0,000534932
Compressão (28 dias)			21,41645	$2,95 \times 10^{-14}$

Fonte: Do Autor, 2020.

Tabela 32 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias não equivalentes.

Ensaio	μ_1	μ_2	t	p
Massa específica			20,66695	$9,22 \times 10^{-6}$
Compressão (150 dias)			32,7113	$8,43 \times 10^{-11}$
Tração por compressão diametral	Ref.	Exp. 9	15,50391	$3,34 \times 10^{-5}$

Fonte: Do Autor, 2020.

Nas Tabelas 31 e 32, o valor $p < \alpha$ para a comparação entre a argamassa de referência e o experimento 9, exceto para o ensaio de absorção aos 10 minutos, indica que há evidências estatísticas de que as médias são diferentes. Rejeita-se H_0 .

Analisando os resultados dos ensaios, deduz-se que as resistências à tração na flexão (28 e 150 dias), à compressão (28 e 150 dias) e à tração por compressão diametral dos corpos de prova de referência é superior à da mistura com os fios do tecido e sua absorção de água, coeficiente de capilaridade e índice de vazios são inferiores. Já a massa específica da argamassa sem o resíduo é maior em relação a do experimento 9.

Para o ensaio de absorção aos 10 minutos, aceita-se H_0 . O valor $p > \alpha$ comprova que não há evidências estatísticas de que a média da

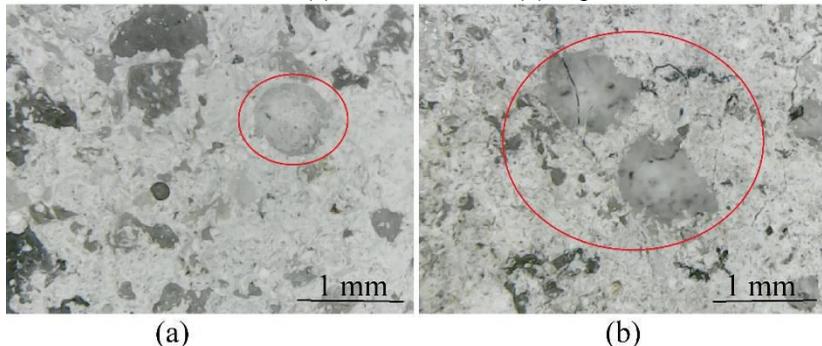
absorção de água por capilaridade da referência é diferente das amostras do experimento 9.

Essas reduções na resistência e o aumento da absorção de água e índice de vazios estão relacionados com a quantidade de água adicionada no processo de mistura, sendo que para a argamassa de referência a relação água/aglomerante foi de 0,70 e para a que continha os fios do tecido foi de 0,92, para um índice de consistência fixado em 260 ± 5 mm.

Cardinale et al. (2017), em relação à referência, observaram essa diferença nos valores de resistência à tração na flexão e à compressão, sendo a redução de 9,1 e 14,7%, respectivamente, para um teor de 2% de fibras de lã de ovelha.

Os vazios (porosidade) nas argamassas podem ser observados na Figura 39, onde se nota que a mistura com resíduo (Figura 39(b)) apresenta maior quantidade de poros em relação à referência (Figura 39(a)), concordando com os valores encontrados para o índice de vazios (Tabela 9).

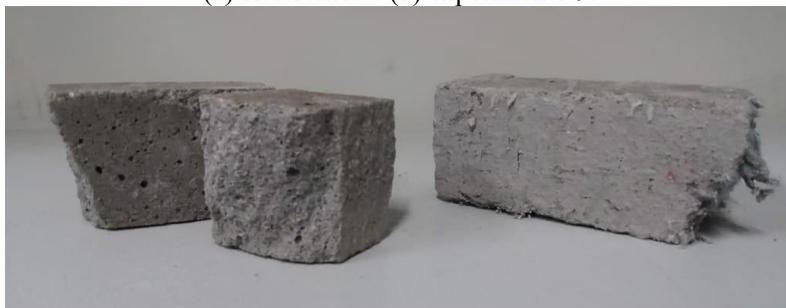
Figura 39 - Imagens microscópicas mostrando a porosidade, destacada em vermelho, da (a) referência e do (b) experimento 9.



Fonte: Do Autor, 2020.

A Figura 40 exibe os corpos de prova após a ruptura na compressão. A argamassa de referência, após a fissuração, se desintegrou, sendo a amostra partida (Figura 40(a)), já as com fios do tecido, apesar da menor resistência, permaneceram inteiras (Figura 40(b)). Essa característica também foi verificada no ensaio de tração na flexão, sendo que os corpos de prova com o resíduo foram mais difíceis de partir ao meio em relação aos de referência.

Figura 40 - Corpos de prova após o ensaio de resistência à compressão.
(a) Referência e (b) experimento 9.



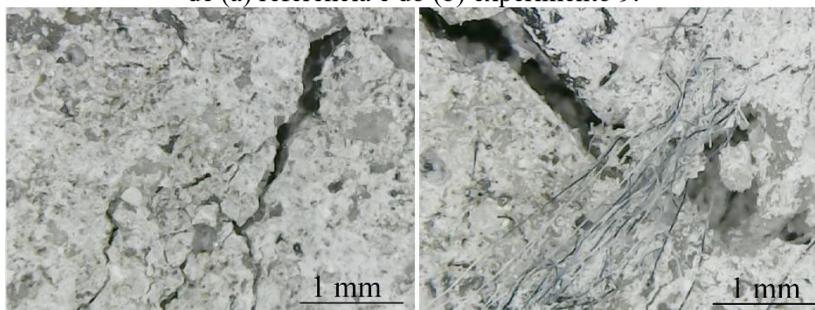
(a)

(b)

Fonte: Do Autor, 2020.

Essa condição pode ser vista nas imagens da Figura 41, comprovando que os fios do tecido, após a fissuração, mantêm as partes unidas (Figura 41(b)). Já na argamassa de referência (Figura 41(a)), as fissuras se ramificam, tornando-a quebradiça.

Figura 41 - Imagens microscópicas mostrando a fissuração da amostra de (a) referência e do (b) experimento 9.



(a)

(b)

Fonte: Do Autor, 2020.

6 CONCLUSÃO

A caracterização das aparas de tecido advindas da indústria de confecção mostrou que elas são compostas por fibras de celulose. Para a utilização como material de reforço em argamassas de revestimento, precisaram ser desfiadas manualmente, assumindo a forma de fios com diâmetro de aproximadamente 0,5 mm. Desse processo, resultaram dois tipos de materiais e, diante dos resultados do ensaio de resistência à tração, descartou-se aquele mais elástico e de baixa resistência, que correspondia a aproximadamente 25% do tecido.

As argamassas de revestimento precisam atingir uma trabalhabilidade adequada para aplicação e, com base nisso, escolheram-se para as misturas as proporções de 1, 2 e 3% em massa de resíduo em relação à massa de aglomerantes com comprimentos de 1, 2 e 3 cm, adequando a quantidade de água para um índice de consistência fixado em 260 ± 5 mm.

Na caracterização física das argamassas, os resultados demonstraram que com a adição do resíduo, o índice de vazios aumentou e a massa específica reduziu. Imagens microscópicas mostraram os vazios oriundos da evaporação da água e do seu consumo no processo de hidratação, fatores relacionados à exigência da modificação na relação água/aglomerante das misturas. Os vazios também elevaram a absorção de água e o coeficiente de capilaridade das argamassas com o resíduo.

Quanto às propriedades mecânicas, exceto para a resistência de aderência à tração, as das amostras com os fios se mostraram inferiores às da referência, estando diretamente relacionadas com a quantidade de água adicionada durante o processo de mistura, pois o resíduo, de alta absorção, dificultava o espalhamento. Mesmo com essa redução, atingiram-se os valores mínimos estabelecidos pelas normas nos ensaios de resistências à compressão (1,5 MPa) e tração na flexão (1,0 MPa).

No ensaio de resistência de aderência à tração, o resíduo permitiu que todas as argamassas aderissem ao substrato do bloco cerâmico, o que não foi verificado para a referência. Somente as amostras do experimento 4 ficaram abaixo do valor estabelecido pela norma de 0,30 MPa.

Ao testar as argamassas com fios do tecido e a referência, após exposição às intempéries, verificou-se que a resistência à tração na flexão das amostras, exceto para os experimentos 2 e 3, foram superiores aos 28 dias quando comparadas com aquelas aos 150 dias, relacionando-se com o comportamento da cal em ciclos de secagem e

umidade. Já para a compressão, as amostras dos experimentos 4, 6 e 9 mantiveram suas resistências. A redução observada para as dos experimentos 7 e 8 são justificadas pela dificuldade da penetração do CO_2 para a reação de carbonatação.

Embora as propriedades, no geral, das argamassas contendo o resíduo tenham sido inferiores às da referência, quando a mistura com o maior teor de fios de comprimentos mais longos foi submetida ao ensaio térmico a $60\text{ }^\circ\text{C}$, a temperatura da sua superfície interna a estufa foi cerca de $12\text{ }^\circ\text{C}$ menor que a da referência, pois a porosidade e a fibra de celulose contribuem para o isolamento térmico. Essa característica é de extrema importância para questões relacionadas à durabilidade, pois protege as estruturas e paredes das movimentações por dilatações e contrações.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se como temas de pesquisa para outros trabalhos:

- Avaliar as propriedades mecânicas e a durabilidade de argamassas mantendo a relação água/aglomerante e ajustando o índice de consistência com aditivo superplastificante;
- Procurar tratamentos que reduzam a absorção de água do resíduo para que durante o processo de mistura não seja necessário aumentar a quantidade de água;
- Buscar alternativas para os fios descartados.

REFERÊNCIAS

ABIDI, Noureddine; CABRALES, Luis; HAIGLER, Candace H. Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, v. 100, p. 9–16, 2014.

ABNT NBR 13276. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT NBR 13279. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT NBR 13281. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT NBR 13528. **Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT NBR 13529. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT NBR 13749. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT 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, 2005.

ABNT NBR 16541. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT NBR 16697. **Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT NBR 7214. **Areia normal para ensaio de cimento - Especificação**. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR 7215. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2019.

ABNT NBR 7222. **Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ABNT NBR NM 30. **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

ABNT NBR NM 45. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

ABNT NBR NM 52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

AKAND, Lutfur; YANG, Mijia; WANG, Xinnan. Effectiveness of chemical treatment on polypropylene fibers as reinforcement in pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 163, p. 32–39, 2018.

ALMEIDA, Jacinto Manuel Antunes De; SILVA, Bruno do Vale; CHIES, Josué Argenta; GASPERIN, Josiane; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto Da. Influência da utilização de procedimentos não padronizados de ensaio para a determinação experimental da resistência à compressão simples e do módulo estático de elasticidade do cimento Portland. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 20, n. 2, p. 466–479, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **MUITO MAIS FORÇA PARA O SETOR E PARA O BRASIL.** Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/quemsomos>>. Acesso em: 15 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE

CONFECÇÃO. **Dados gerais do setor referentes a 2017**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 15 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Revestimentos de Argamassa**, [s.d.].

ASTM C1557. **Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers**. West Conshohocken, 2014.

BANFILL, Phillip F.G.; SZADURSKI, Ewan M.; FORSTER, Alan M. Deterioration of natural hydraulic lime mortars , II : Effects of chemically accelerated leaching on physical and mechanical properties of carbonated materials. **Construction and Building Materials**, v. 111, p. 182–190, 2016.

BANTHIA, Nemkumar; ZANOTTI, Cristina; SAPPAKITTIPAKORN, Manote. Sustainable fiber reinforced concrete for repair applications. **Construction and Building Materials**, v. 67, p. 405–412, 2014.

BARRECA, F.; FICHERA, C. R. Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation. **Energy & Buildings**, v. 62, p. 507–513, 2013.

BAUER, L. A. Falcão; BAUER, J. R. Falcão. A Carbonatação do Concreto e sua Durabilidade. In: **Materiais de Construção 2**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 817–827.

BERTELSEN, I. M. G.; OTTOSEN, L. M.; FISCHER, G. Influence of fibre characteristics on plastic shrinkage cracking in cement-based materials : A review. **Construction and Building Materials**, v. 230, p. 116769, 2020.

BLAS-SEVILLANO, R. H.; VERAMENDI, T.; LA TORRE, B.; VELEZMORO-SÁNCHEZ, C. E.; OLIVA, A. I.; MENA-MARTÍNEZ, M. E.; HERRERA-KAO, W. A.; URIBE-CALDERON, J.; CERVANTES-UC, J. M. Physicochemical characterization of several types of naturally colored cotton fibers from Peru. **Carbohydrate Polymers**, v. 197, p. 246–252, 2018.

BORINAGA-TREVIÑO, R.; ORBE, A.; NORAMBUENA-

CONTRERAS, J.; CANALES, J. Effect of microwave heating damage on the electrical, thermal and mechanical properties of fibre-reinforced cement mortars. **Construction and Building Materials**, v. 186, p. 31–41, 2018.

BRIGA-SÁ, Ana; NASCIMENTO, David; TEIXEIRA, Nuno; PINTO, Jorge; CALDEIRA, Fernando; VARUM, Humberto; PAIVA, Anabela. Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 155–160, 2013.

CAO, Mingli; XU, Ling; ZHANG, Cong. Rheological and mechanical properties of hybrid fiber reinforced cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 736–742, 2018.

CAPRARO, Ana Paula Brandão; CHEREMETA, Marcos Antonio; GONÇALVES, Marcos Paulo Galvão; CREMONEZ, Claiton; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias De. Influence of the cement type and water/cement ratio in concretes exposed in sewage treatment plants. **Construction and Building Materials**, v. 229, p. 116842, 2019.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 863–904.

CARDINALE, Tiziana; ARLEO, Giuseppe; BERNARDO, Franco; FEO, Andrea; FAZIO, Piero De. Thermal and mechanical characterization of panels made by cement mortar and sheep’s wool fibres. **Energy Procedia**, v. 140, p. 159–169, 2017.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; CINCOTTO, Maria Alba. Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, p. 18, 1999.

CETINER, Ikbal; SHEA, Andrew D. Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings. **Energy and Buildings**, v. 168, p. 374–384, 2018.

CHAPMAN, Adrian. Mistra Future Fashion – Review of Life Cycle Assessments of Clothing. p. 32, 2010.

CHEN, Dengyu; WANG, Yun; LIU, Yixuan; CEN, Kehui; CAO, Xiaobing; MA, Zhongqing; LI, Yanjun. Comparative study on the pyrolysis behaviors of rice straw under different washing pretreatments of water, acid solution, and aqueous phase bio-oil by using TG-FTIR and Py-GC/MS. **Fuel**, v. 252, p. 1–9, 2019.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes. **Cerâmica**, v. 60, p. 69–76, 2014.

COELHO, Ana Zulmira Gomes; TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said. **A Cal na Construção**. Braga: 2009.

COPPOLA, Bartolomeo; COURARD, Luc; MICHEL, Frédéric; INCARNATO, Loredana; SCARFATO, Paola; DI MAIO, Luciano. Hygro-thermal and durability properties of a lightweight mortar made with foamed plastic waste aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 170, p. 200–206, 2018.

CORINALDESI, Valeria; MAZZOLI, Alida; SIDDIQUE, Rafat. Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 281–289, 2016.

COSTA, Andrea; KEANE, Marcus M.; TORRENS, J. Ignacio; CORRY, Edward. Building operation and energy performance: Monitoring, analysis and optimisation toolkit. **Applied Energy**, v. 101, p. 310–316, 2013.

COSTA, Ana Cristina Rodrigues Da; ROCHA, Érico Rial Pinto Da. Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação. **BNDES Setorial**, n. 29, p. 159–202, 2009.

DISSANAYAKE, D. G. K.; WEERASINGHE, D. U.; WIJESINGHE, K. A. P.; KALPAGE, K. M. D. M. P. Developing a compression moulded thermal insulation panel using postindustrial textile waste. **Waste Management**, v. 79, p. 356–361, 2018.

DONNINI, Jacopo; BELLEZZE, Tiziano; CORINALDESI, Valeria. Mechanical, electrical and self-sensing properties of cementitious

mortars containing short carbon fibers. **Journal of Building Engineering**, v. 20, p. 8–14, 2018.

EL WAZNA, Mohamed; EL FATIHI, Mohamed; EL BOUARI, Abdeslam; CHERKAOUI, Omar. Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. **Journal of Building Engineering**, v. 12, p. 196–201, 2017.

FANTILLI, Alessandro P.; SICARDI, Silvio; DOTTI, Francesca. The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 562–569, 2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **INDÚSTRIA TÊXTIL E DO VESTUÁRIO DE SC**.

Disponível em:

<http://www2.fiescnet.com.br/web/pt/site_topo/pei/info/textil-e-vestuario>. Acesso em: 1 out. 2018.

FERREIRA, M. D.; COSTA, T. N.; TEIXEIRA, F. G.; JACQUES, J. J.; CATTANI, A. Redução de Resíduos Têxteis por Meio de Projeto de Produto de Moda. **Design & Tecnologia**, v. 10, p. 38–44, 2015.

FUJITA, Renata Mayumi Lopes; JORENTE, Maria José. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **ModaPalavra e-Periódico**, v. 8, n. 15, p. 153–174, 2015.

GOVAERTS, Yves; HAYEN, Roald; DE BOUW, Michael; VERDONCK, Ann; MEULEBROECK, Wendy; MERTENS, Stijn; GRÉGOIRE, Yves. Performance of a lime-based insulating render for heritage buildings. **Construction and Building Materials**, v. 159, p. 376–389, 2018.

GRILO, J.; FARIA, P.; VEIGA, R.; SILVA, A. Santos; SILVA, V.; VELOSA, A. New natural hydraulic lime mortars-Physical and microstructural properties in different curing conditions. **Construction and Building Materials**, v. 54, p. 378–384, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Mapa de clima do Brasil. Disponível em:

<http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Períodos de Maiores e Menores Temperaturas e Pluviosidades Climatológicas.**

Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mesTempo>>.

Acesso em: 15 out. 2019a.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Boletim agroclimatológico mensal**, 2019b.

IRSHIDAT, Mohammad R.; AL-SHANNAQ, Ammar. Using textile reinforced mortar modified with carbon nano tubes to improve flexural performance of RC beams. **Composite Structures**, v. 200, p. 127–134, 2018.

JUNCO, C.; RODRÍGUEZ, A.; CALDERÓN, V.; MUÑOZ-RUPÉREZ, C.; GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, S. Fatigue durability test of mortars incorporating polyurethane foam wastes. **Construction and Building Materials**, v. 190, p. 373–381, 2018.

KANAN, Maria Isabel. **Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal**, 2008.

KESIKIDOU, Fotini; STEFANIDOU, Maria. Natural fiber-reinforced mortars. **Journal of Building Engineering**, v. 25, p. 100786, 2019.

KÖKSAL, Deniz; STRÄHLE, Jochen; MÜLLER, Martin; FREISE, Matthias. Social Sustainable Supply Chain Management in the Textile and Apparel Industry—A Literature Review. **Sustainability**, v. 9, p. 1–32, 2017.

KOKSAL, Fuat; MUTLUAY, Emrah; GENCEL, Osman. Characteristics of isolation mortars produced with expanded vermiculite and waste expanded polystyrene. **Construction and Building Materials**, v. 236, p. 117789, 2020.

LANAS, J.; BERNAL, J. L. Pérez; BELLO, M. A.; GALINDO, J. I. Alvarez. Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 2191–2201, 2004.

LESSARD, J. M.; OMRAN, A.; TAGNIT-HAMOU, A.; GAGNE, R. Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete

production. **Construction and Building Materials**, v. 132, p. 565–577, 2017.

LI, Biao; XU, Lihua; SHI, Yuchuan; CHI, Yin; LIU, Qi; LI, Changning. Effects of fiber type, volume fraction and aspect ratio on the flexural and acoustic emission behaviors of steel fiber reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v. 181, p. 474–486, 2018a.

LI, L. G.; CHU, S. H.; ZENG, K. L.; ZHU, J.; KWAN, A. K. H. Roles of water film thickness and fibre factor in workability of polypropylene fibre reinforced mortar. **Cement and Concrete Composites**, v. 93, p. 196–204, 2018b.

LIU, Fenglei; WANG, Shuoyu; CHEN, Shuixia. Adsorption behavior of Au (III) and Pd (II) on persimmon tannin functionalized viscose fiber and the mechanism. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 1242–1251, 2020.

MALANHO, Sofia; VEIGA, Maria do Rosário. Bond strength between layers of ETICS – Influence of the characteristics of mortars and insulation materials. **Journal of Building Engineering**, v. 28, p. 101021, 2020.

MARONI, Laerte Guião; PUBLIO FILHO, Wagner T.; SAITO, Jorge; LIMA, Cristiane Gimenes. **Classificação, Identificação e Aplicações de Nãotecidos Abint**. Associação Brasileira das Indústrias de Nãotecidos - ABINT, 1999.

MENDES, Júlia Castro; BARRETO, Rodrigo Rony; PAULA, Ana Carolina Barbieri De; ELÓI, Fernanda Pereira da Fonseca; BRIGOLINI, Guilherme Jorge; PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti. On the relationship between morphology and thermal conductivity of cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 104, p. 103365, 2019.

MENDES JUNIOR, Biagio de Oliveira. Setor têxtil. **Caderno Setorial ETENE**, v. 2, n. 16, p. 1–18, 2017.

MENEGUCCI, Franciele; MERTELI, Leticia; CAMARGO, Maristela; VITO, Meriele. Resíduos têxteis : Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção. **Congresso Nacional de**

Excelência em Gestão, p. 12, 2015.

MÍNGUEZ, Jesús; VICENTE, Miguel A.; GONZÁLEZ, Dorys C. Pore morphology variation under ambient curing of plain and fiber-reinforced high performance mortar at an early age. **Construction and Building Materials**, v. 198, p. 718–731, 2019.

MOBUSS CONSTRUÇÃO. **Norma de desempenho: o impacto da NBR 15575 na sustentabilidade de obras**. Disponível em: <<https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/norma-de-desempenho-e-sustentabilidade/>>. Acesso em: 3 mar. 2020.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NIMKAR, Ullhas. Sustainable chemistry: A solution to the textile industry in a developing world. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 9, p. 13–17, 2018.

ORBAN, Yvette Anna; MANEA, Daniela Lucia; ACIU, Claudiu; MUSTEA, Andrei. Virtual manufacturing and mechanical properties of synthetic fiber-reinforced mortars. **Procedia Manufacturing**, v. 22, p. 262–267, 2018.

PAES, I. N.; BAUER, E.; CARASEK, H.; PAVÓN, E. Influence of water transportation inside a mortar/block system on bonding resistance behavior. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 29, n. 2, p. 175–186, 2014.

PALOMAR, I.; BARLUENGA, G.; PUENTES, J. Lime-cement mortars for coating with improved thermal and acoustic performance. **Construction and Building Materials**, v. 75, p. 306–314, 2015.

PÁSZTORY, Zoltán; HORVÁTH, Tibor; GLASS, Samuel V.; ZELINKA, Samuel. Experimental investigation of the influence of temperature on thermal conductivity of multilayer reflective thermal insulation. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 26–30, 2018.

PINTO, Jorge; PEIXOTO, Artur; VIEIRA, José; FERNANDES, Lisete; MORAIS, José; CUNHA, Vítor M. C. F.; VARUM, Humberto. Render reinforced with textile threads. **Construction and Building Materials**,

v. 40, p. 26–32, 2013.

POPESCU, M. C.; UNGUREANU, C.; BUSE, E.; NASTASE, F.; TUCUREANU, V.; SUCHEA, M.; DRAGA, S.; POPESCU, M. A. Antibacterial efficiency of cellulose-based fibers covered with ZnO and Al₂O₃ by Atomic Layer Deposition. **Applied Surface Science**, v. 481, p. 1287–1298, 2019.

POZO-ANTONIO, J. S. Evolution of mechanical properties and drying shrinkage in lime-based and lime cement-based mortars with pure limestone aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 472–478, 2015.

RALEGAONKAR, R.; GAVALI, H.; ASWATH, P.; ABOLMAALI, S. Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: A review. **Construction and Building Materials**, v. 164, p. 589–602, 2018.

RAMIRÉZ, Carolina Piña; MERINO, Mercedes del Río; ARREBOLA, Carmen Viñas; BARRIGUETE, Alejandra Vidales; KOSIOR-KAZBERUK, Marta. Analysis of the mechanical behaviour of the cement mortars with additives of mineral wool fibres from recycling of CDW. **Construction and Building Materials**, v. 210, p. 56–62, 2019.

RAO, V. Venkateswara; PARAMESHWARAN, R.; RAM, V. Vinayaka. PCM-mortar based construction materials for energy efficient buildings: A review on research trends. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 95–122, 2018.

RODIN, Harry; NASSIRI, Somayeh; ENGLUND, Karl; FAKRON, Osama; LI, Hui. Recycled glass fiber reinforced polymer composites incorporated in mortar for improved mechanical performance. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 738–751, 2018.

ROSATO, L.; STEFANIDOU, M.; MILAZZO, G.; FERNANDEZ, F.; LIVRERI, P.; MURATORE, N.; TERRANOVA, L. M. Study and evaluation of nano-structured cellulose fibers as additive for restoration of historical mortars and plasters. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, p. 6954–6965, 2017.

SCHOLZ, Roland; HERBIG, Friedrich; BECK, Daniela; SPÖRL, Johanna; HERMANUTZ, Frank; UNTERWEGER, Christoph; PIANA,

Francesco. Improvements in the carbonisation of viscose fibres.

Reinforced Plastics, v. 63, n. 3, p. 146–150, 2019.

SENGUL, Ozkan. Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers. **Construction and Building Materials**, v. 186, p. 1082–1091, 2018.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE FIAÇÃO E TECELAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inclusão social e preservação ambiental por meio da reciclagem de resíduos têxteis**. Disponível em:

<http://sinditextilsp.org.br/retalho_fashion/site/apresentacao.pdf>.

Acesso em: 28 ago. 2018.

SPADEA, Saverio; FARINA, Ilenia; CARRAFIELLO, Anna; FRATERNALI, Fernando. Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. **Construction and Building Materials**, v. 80, p. 200–209, 2015.

TILIOUA, Amine; LIBESSART, Laurent; LASSUE, Stéphane. Characterization of the thermal properties of fibrous insulation materials made from recycled textile fibers for building applications: Theoretical and experimental analyses. **Applied Thermal Engineering**, v. 142, p. 56–67, 2018.

TOMOVSKA, Elena; JORDEVA, Sonja; TRAJKOVIĆ, Dušan; ZAFIROVA, Koleta. Attitudes towards managing post-industrial apparel cuttings waste. **The Journal of The Textile Institute**, p. 1–8, 2016.

TREJBAL, J. Mechanical properties of lime-based mortars reinforced with plasma treated glass fibers. **Construction and Building Materials**, v. 190, p. 929–938, 2018.

VANTADORI, Sabrina; CARPINTERI, Andrea; ZANICHELLI, Andrea. Lightweight construction materials: Mortar reinforced with date-palm mesh fibres. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, v. 100, p. 39–45, 2019.

VAZ, F. H. B.; CARASEK, H. Resistência de aderência de revestimentos de argamassa - contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema.

Cerâmica, v. 65, p. 303–318, 2019.

WANG, Lili; DONG, Xia; ZHU, Ping; ZHANG, Xiuqin; LIU, Xinran; WANG, Dujin. High elasticity and corresponding microstructure origin of novel long chain poly(amide-block-ether) filament fibers. **European Polymer Journal**, v. 90, p. 171–182, 2017.

WRAP. Valuing Our Clothes: the cost of UK fashion. **Wrap**, p. 54, 2017.

YU, Ke-Quan; YU, Jiang-Tao; DAI, Jian-Guo; LU, Zhou-Dao; SHAH, Surendra P. Development of ultra-high performance engineered cementitious composites using polyethylene (PE) fibers. **Construction and Building Materials**, v. 158, p. 217–227, 2018.

ZHANG, Dajiang; ZHAO, Jihui; WANG, Dongmin; XU, Chenyang; ZHAI, Mengyi; MA, Xiangdong. Comparative study on the properties of three hydraulic lime mortar systems : Natural hydraulic lime mortar , cement-aerial lime-based mortar and slag-aerial lime-based mortar. **Construction and Building Materials**, v. 186, p. 42–52, 2018.

ZONATTI, Welton Fernando; AMARAL, Mariana Correa Do; GASI, Fernando; BARUQUE-RAMOS, Júlia; DULEBA, Wânia. Reciclagem de resíduos do setor têxtil e confeccionista no Brasil: panorama e ações relacionadas. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, p. 50–69, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela de índice de vazios e massa específica das amostras

Amostra*	m (g)	m _i (g)	m _{sat} (g)	I _v (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	ρ _s (g/cm ³)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
R.1	359,12	225,19	414,79	29,36			1,89		
R.2	357,71	218,82	414,76	29,12			1,83		
R.3	353,82	216,47	408,92	28,63	28,78	0,46	1,84	1,85	0,03
R.4	362,04	221,55	418,18	28,55			1,84		
R.5	362,24	221,52	417,58	28,23			1,85		
1.1	342,57	211,15	407,14	32,95			1,75		
1.2	346,47	212,84	410,82	32,50			1,75		
1.3	344,09	211,24	407,01	32,14	32,27	0,58	1,76	1,76	0,01
1.4	345,39	211,55	406,58	31,37			1,77		
1.5	343,33	210,84	406,73	32,37			1,75		
2.1	339,87	210,16	402,82	32,67			1,76		
2.2	344,63	212,15	409,09	32,73			1,75		
2.3	341,06	210,07	405,13	32,85	32,68	0,22	1,75	1,75	0,01
2.4	340,63	209,51	404,76	32,85			1,74		
2.5	346,47	213,06	410,17	32,32			1,76		
3.1	343,55	211,44	407,79	32,72			1,75		
3.2	344,20	211,38	408,22	32,52			1,75		
3.3	342,36	210,77	407,79	33,21	32,80	0,29	1,74	1,74	0,00
3.4	343,23	211,19	408,22	32,98			1,74		
3.5	339,74	208,44	403,14	32,56			1,74		

Amostra*	m (g)	m _i (g)	m _{sat} (g)	I _v (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	ρ _s (g/cm ³)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
4.1	329,60	201,46	397,52	34,64			1,68		
4.2	325,71	199,59	393,84	35,07			1,68		
4.3	327,44	200,79	397,09	35,48	35,02	0,40	1,67	1,67	0,01
4.4	327,01	200,31	396,22	35,33			1,67		
4.5	328,09	200,29	395,68	34,59			1,68		
5.1	334,04	205,99	402,06	34,69			1,70		
5.2	333,50	206,06	402,93	35,27			1,69		
5.3	334,04	205,96	402,28	34,76	34,87	0,44	1,70	1,70	0,01
5.4	327,55	201,16	393,52	34,30			1,70		
5.5	329,28	203,08	398,28	35,35			1,69		
6.1	330,81	204,31	400,99	35,68			1,68		
6.2	328,80	202,40	399,06	35,73			1,67		
6.3	329,24	202,98	398,95	35,57	35,56	0,21	1,68	1,68	0,01
6.4	329,67	203,43	399,49	35,61			1,68		
6.5	326,97	201,43	395,17	35,20			1,69		
7.1	306,96	187,80	382,31	38,74			1,58		
7.2	307,52	188,26	383,28	38,85			1,58		
7.3	306,65	188,69	382,85	39,25	38,95	0,20	1,58	1,58	0,00
7.4	312,49	192,05	389,66	39,05			1,58		
7.5	308,37	189,13	384,15	38,86			1,58		

Amostra*	m (g)	m _i (g)	m _{sat} (g)	I _v (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	ρ _s (g/cm ³)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
8.1	316,16	194,48	386,52	36,64			1,65		
8.2	319,51	197,34	392,47	37,39			1,64		
8.3	318,65	196,86	391,28	37,36	37,02	0,34	1,64	1,64	0,00
8.4	320,27	197,48	392,36	36,99			1,64		
8.5	321,67	198,16	393,42	36,75			1,65		
9.1	311,20	191,46	386,96	38,75			1,59		
9.2	312,06	192,08	387,28	38,53			1,60		
9.3	315,08	193,97	389,77	38,15	38,53	0,27	1,61	1,60	0,01
9.4	310,85	190,89	385,67	38,41			1,60		
9.5	312,60	192,30	388,90	38,81			1,59		

* Nota referente à nomenclatura adotada: a notação utilizada refere-se primeiro ao número do experimento e segundo ao corpo de prova e R corresponde às amostras de referência.

Fonte: Do Autor, 2020.

APÊNDICE B – Tabela de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade das amostras

Amostra	m ₀ (g)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	C (g/dm ² .√min)	Média (g/dm ² .√min)	Desvio Padrão (g/dm ² .√min)
R.1	487,61	494,01	504,94	0,40			1,08			10,93		
R.2	489,98	497,77	509,05	0,49			1,19			11,28		
R.3	484,04	490,16	500,84	0,38	0,42	0,06	1,05	1,11	0,07	10,68	10,96	0,30
R.4	486,31	492,32	502,99	0,38			1,04			10,67		
R.5	487,50	494,94	507,42	0,47			1,25			12,48		
1.1	462,55	469,69	483,64	0,45			1,32			13,95		
1.2	472,93	480,18	492,93	0,45			1,25			12,75		
1.3	474,99	482,56	495,31	0,47	0,47	0,02	1,27	1,28	0,04	12,75	12,93	0,31
1.4	465,91	472,83	484,83	0,43			1,18			12,00		
1.5	478,01	485,91	499,20	0,49			1,32			13,29		
2.1	464,22	472,88	489,54	0,54			1,58			16,66		
2.2	463,68	473,28	490,84	0,60			1,70			17,56		
2.3	476,44	487,03	504,14	0,66	0,59	0,06	1,73	1,63	0,08	17,11	16,71	0,38
2.4	472,23	481,29	497,65	0,57			1,59			16,36		
2.5	475,69	485,19	501,31	0,59			1,60			16,12		
3.1	472,23	482,01	497,73	0,61			1,59			15,72		
3.2	470,98	482,08	498,49	0,69			1,72			16,41		
3.3	466,66	476,27	492,84	0,60	0,64	0,05	1,64	1,65	0,06	16,57	16,23	0,45
3.4	469,38	480,69	497,49	0,71			1,76			16,80		
3.5	465,38	474,34	487,98	0,56			1,41			13,64		

Amostra	m_0 (g)	m_{10} (g)	m_{90} (g)	A_{10} (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	A_{90} (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	C (g/dm ² .√min)	Média (g/dm ² .√min)	Desvio Padrão (g/dm ² .√min)
4.1	456,68	466,44	483,14	0,61			1,65			16,70		
4.2	454,17	464,09	480,10	0,62			1,62			16,01		
4.3	453,25	462,01	476,45	0,55	0,57	0,07	1,45	1,58	0,09	14,44	16,04	0,44
4.4	452,00	461,69	478,18	0,61			1,64			16,49		
4.5	450,90	458,88	474,50	0,50			1,48			15,62		
5.1	458,58	467,68	479,57	0,57			1,31			11,89		
5.2	453,29	462,70	484,24	0,59			1,93			21,54		
5.3	457,72	466,70	483,05	0,56	0,55	0,02	1,58	1,59	0,02	16,35	16,68	0,29
5.4	454,80	463,67	480,56	0,55			1,61			16,89		
5.5	446,15	454,48	471,27	0,52			1,57			16,79		
6.1	457,07	466,27	481,89	0,57			1,55			15,62		
6.2	452,85	462,70	479,83	0,62			1,69			17,13		
6.3	460,85	471,24	489,24	0,65	0,53	0,11	1,77	1,53	0,17	18,00	15,91	1,11
6.4	456,85	463,35	478,32	0,41			1,34			14,97		
6.5	458,04	465,08	479,95	0,44			1,37			14,87		
7.1	430,60	437,62	456,68	0,44			1,63			19,06		
7.2	435,25	442,93	460,99	0,48			1,61			18,06		
7.3	431,31	439,57	457,65	0,52	0,52	0,02	1,65	1,69	0,04	18,08	18,60	0,48
7.4	435,35	443,58	462,29	0,51			1,68			18,71		
7.5	429,62	438,28	457,30	0,54			1,73			19,02		

Amostra	m_0 (g)	m_{10} (g)	m_{90} (g)	A_{10} (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	A_{90} (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	C (g/dm ² .√min)	Média (g/dm ² .√min)	Desvio Padrão (g/dm ² .√min)
8.1	445,96	454,91	472,79	0,56			1,68			17,88		
8.2	438,70	447,78	465,91	0,57			1,70			18,13		
8.3	433,39	441,72	458,93	0,52	0,51	0,05	1,60	1,59	0,09	17,21	17,22	0,66
8.4	443,45	450,80	467,36	0,46			1,49			16,56		
8.5	440,85	446,15	462,17	0,33			1,33			16,02		
9.1	436,46	444,56	463,89	0,51			1,71			19,33		
9.2	442,29	450,51	468,64	0,51			1,65			18,13		
9.3	437,54	445,54	464,88	0,50	0,51	0,02	1,71	1,70	0,01	19,34	19,04	0,51
9.4	436,02	445,75	465,73	0,61			1,86			19,98		
9.5	436,02	444,56	463,02	0,53			1,69			18,46		

* Os valores em vermelho foram desconsiderados nas análises estatísticas.

Fonte: Do Autor, 2020.

APÊNDICE C – Tabela de resistência à tração na flexão das amostras aos 28 dias

Amostra	F _v (N)	R _f (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	1.084,50	2,54		
R.2	1.103,60	2,59		
R.3	1.151,30	2,70	2,62	0,07
R.4	1.097,30	2,57		
R.5	1.164,10	2,73		
1.1	696,07	1,63		
1.2	755,56	1,77		
1.3	664,25	1,56	1,67	0,04
1.4	729,59	1,71		
1.5	714,69	1,68		
2.1	546,43	1,28		
2.2	602,97	1,41		
2.3	560,31	1,31	1,32	0,01
2.4	568,44	1,33		
2.5	557,6	1,31		
3.1	720,45	1,69		
3.2	535,6	1,26		
3.3	693,03	1,62	1,50	0,12
3.4	632,43	1,48		
3.5	594,45	1,39		
4.1	619,56	1,45		
4.2	620,24	1,45		
4.3	563,36	1,32	1,44	0,02
4.4	607,37	1,42		
4.5	634,12	1,49		
5.1	601,62	1,41		
5.2	610,76	1,43		
5.3	648,34	1,52	1,45	0,05
5.4	577,58	1,35		
5.5	644,27	1,51		
6.1	616,17	1,44		
6.2	598,57	1,40		
6.3	658,16	1,54	1,53	0,08
6.4	686,26	1,61		
6.5	746,18	1,75		

Amostra	F _v (N)	R _f (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
7.1	545,42	1,28		
7.2	500,39	1,17		
7.3	677,11	1,59	1,41	0,12
7.4	602,97	1,41		
7.5	650,71	1,53		
8.1	800,01	1,88		
8.2	681,18	1,60		
8.3	586,04	1,37	1,66	0,19
8.4	647,66	1,52		
8.5	859,6	2,01		
9.1	662,22	1,55		
9.2	536,61	1,26		
9.3	597,55	1,40	1,51	0,10
9.4	675,42	1,58		
9.5	742,12	1,74		

* Os valores em vermelho foram desconsiderados nas análises estatísticas.

Fonte: Do Autor, 2020.

APÊNDICE D – Tabela de resistência à compressão das amostras aos 28 dias

Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	11.984	7,49	7,23	0,58	2.1	6.128	3,83	3,49	0,33
R.2	9.888	6,18			2.2	4.736	2,96		
R.3	12.400	7,75			2.3	5.712	3,57		
R.4	11.296	7,06			24	5.024	3,14		
R.5	12.688	7,93			2.5	5.776	3,61		
R.6	10.592	6,62			2.6	5.648	3,53		
R.7	11.632	7,27			2.7	5.504	3,44		
R.8	10.656	6,66			2.8	6.336	3,96		
R.9	12.480	7,80			2.9	6.000	3,75		
R.10	11.984	7,49			2.10	4.944	3,09		
1.1	5.568	3,48	4,05	0,28	3.1	5.856	3,66	4,10	0,34
1.2	6.336	3,96			3.2	6.544	4,09		
1.3	6.272	3,92			3.3	6.832	4,27		
1.4	6.688	4,18			3.4	6.000	3,75		
1.5	6.688	4,18			3.5	7.104	4,44		
1.6	6.896	4,31			3.6	6.416	4,01		
1.7	7.104	4,44			3.7	6.976	4,36		
1.8	6.064	3,79			3.8	7.248	4,53		
1.9	6.624	4,14			3.9	5.712	3,57		
1.10	6.624	4,14			3.10	6.832	4,27		

Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
4.1	5.504	3,44	3,62	0,24	6.1	5.776	3,61	3,65	0,18
4.2	5.504	3,44			6.2	5.296	3,31		
4.3	6.208	3,88			6.3	5.648	3,53		
4.4	5.712	3,57			6.4	5.776	3,61		
4.5	5.080	3,18			6.5	5.712	3,57		
4.6	5.712	3,57			6.6	6.064	3,79		
4.7	6.000	3,75			6.7	6.000	3,75		
4.8	5.920	3,70			6.8	6.128	3,83		
4.9	6.416	4,01			6.9	5.776	3,61		
4.10	5.920	3,70			6.10	6.272	3,92		
5.1	5.296	3,31	3,34	0,17	7.1	4.528	2,83	2,73	0,14
5.2	5.568	3,48			7.2	4.592	2,87		
5.3	5.440	3,40			7.3	4.176	2,61		
5.4	5.296	3,31			7.4	3.904	2,44		
5.5	5.712	3,57			7.5	4.256	2,66		
5.6	5.440	3,40			7.6	4.176	2,61		
5.7	5.296	3,31			7.7	4.528	2,83		
5.8	5.504	3,44			7.8	4.464	2,79		
5.9	5.152	3,22			7.9	4.592	2,87		
5.10	4.736	2,96			7.10	4.464	2,79		

Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
8.1	4.672	2,92			9.1	3.696	2,31		
8.2	4.592	2,87			9.2	3.840	2,40		
8.3	4.816	3,01			9.3	4.736	2,96		
8.4	4.320	2,70			9.4	4.592	2,87		
8.5	4.320	2,70	2,95	0,18	9.5	3.696	2,31	2,74	0,32
8.6	5.088	3,18			9.6	4.320	2,70		
8.7	4.944	3,09			9.7	4.736	2,96		
8.8	4.464	2,79			9.8	4.880	3,05		
8.9	5.088	3,18			9.9	5.088	3,18		
8.10	4.816	3,01			9.10	4.256	2,66		

Fonte: Do Autor, 2020.

**APÊNDICE E – Tabela de resistência à tração por compressão
diametral das amostras**

Amostra	F (N)	di (mm)	l (mm)	$f_{ct,sp}$ (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	5.100	50,37	99,87	0,65	0,64	0,05
R.2	4.500	50,23	99,47	0,57		
R.3	5.300	50,14	100,24	0,67		
R.4	5.500	50,31	99,74	0,70		
R.5	5.000	50,26	99,79	0,63		
1.1	3.000	50,19	100,79	0,38	0,42	0,04
1.2	3.500	50,27	99,79	0,44		
1.3	3.100	50,25	99,34	0,40		
1.4	3.300	49,94	99,55	0,42		
1.5	3.800	50,39	100,23	0,48		
2.1	3.600	50,38	100,66	0,45	0,42	0,03
2.2	3.600	50,31	100,27	0,45		
2.3	3.100	50,25	100,44	0,39		
2.4	3.100	50,25	99,99	0,39		
2.5	3.100	50,05	100,28	0,39		
3.1	3.500	50,33	100,43	0,44	0,41	0,03
3.2	2.900	50,16	100,47	0,37		
3.3	3.300	50,30	100,10	0,42		
3.4	3.200	50,27	100,41	0,40		
3.5	3.300	50,08	100,73	0,42		
4.1	2.700	50,45	100,62	0,34	0,34	0,02
4.2	3.000	50,35	100,72	0,38		
4.3	2.600	50,50	100,27	0,33		
4.4	2.600	50,19	100,01	0,33		
4.5	2.800	50,37	100,38	0,35		
5.1	2.600	50,34	100,54	0,33	0,33	0,02
5.2	2.600	50,11	99,89	0,33		
5.3	2.500	50,50	99,85	0,32		
5.4	2.600	50,10	100,08	0,33		
5.5	2.900	49,94	100,39	0,37		

Amostra	F (N)	di (mm)	l (mm)	$f_{ct,sp}$ (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
6.1	2.600	50,31	100,75	0,33	0,32	0,02
6.2	2.800	50,36	100,56	0,35		
6.3	2.400	50,22	100,41	0,30		
6.4	2.500	50,24	99,72	0,32		
6.5	2.500	50,23	99,63	0,32		
7.1	2.000	50,33	100,77	0,25	0,26	0,01
7.2	2.000	50,40	100,33	0,25		
7.3	2.000	50,10	100,58	0,25		
7.4	2.200	50,28	100,08	0,28		
7.5	2.100	50,26	100,56	0,26		
8.1	2.200	50,34	100,30	0,28	0,29	0,01
8.2	2.200	50,26	100,09	0,28		
8.3	2.200	50,48	99,74	0,28		
8.4	2.400	50,14	99,72	0,31		
8.5	2.300	50,27	99,94	0,29		
9.1	2.300	50,06	100,07	0,29	0,31	0,01
9.2	2.400	50,53	99,75	0,30		
9.3	2.400	50,08	99,70	0,31		
9.4	2.400	50,20	99,67	0,31		
9.5	2.600	50,44	99,55	0,33		

Fonte: Do Autor, 2020.

APÊNDICE F – Tabela de resistência de aderência à tração das amostras

Amostra	Corpo de prova				F _r (N)	Ra (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Forma de ruptura (%)		
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	A _{cp} (mm ²)					Sub/Arg	Arg	Cola/Pasta
1.1	44,41	44,78	44,60	1561,93	155	0,10			100		
1.2	44,65	44,49	44,57	1560,18	666	0,43	0,46	0,05	100		
1.3	44,30	43,86	44,08	1526,06	668	0,44			100		
1.4	44,25	44,15	44,20	1534,38	807	0,53			100		
2.1	44,70	44,71	44,70	1569,65	567	0,36			100		
2.2	44,62	44,82	44,72	1570,70	346	0,22	0,41	0,05	100		
2.3	44,29	44,45	44,37	1546,21	702	0,45			100		
2.4	44,31	44,47	44,39	1547,60	628	0,41			100		
3.1	44,46	44,68	44,57	1560,18	578	0,37			0,37	0,01	100
3.2	44,79	44,40	44,60	1561,93	588	0,38	100				
3.3	44,35	44,48	44,42	1549,35	562	0,36	100				
3.4	44,62	44,33	44,48	1553,54	551	0,35	100				
4.1	44,85	44,66	44,76	1573,16	322	0,20	0,25	0,04	100		
4.2	44,91	44,79	44,85	1579,85	407	0,26			100		
4.3	44,40	44,73	44,56	1559,83	292	0,19			100		
4.4	44,18	44,36	44,27	1539,25	434	0,28			100		

Amostra	Corpo de prova				Fr (N)	Ra (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Forma de ruptura (%)		
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	A _{cp} (mm ²)					Sub/Arg	Arg	Cola/Pasta
5.1	44,58	44,75	44,66	1566,84	879	0,56	0,54	0,14	100		
5.2	45,09	44,38	44,74	1571,75	325	0,21			100		
5.3	44,44	44,86	44,65	1565,79	604	0,39			100		
5.4	44,27	44,55	44,41	1549,00	1030	0,66			100		
6.1	44,71	44,56	44,635	1564,74	731	0,47	0,42	0,05	100		
6.2	44,69	44,24	44,465	1552,84	565	0,36			100		
6.3	-	-	-	-	538	-			100		
6.4	44,43	44,41	44,42	1549,70	657	0,42			100		
7.1	44,29	44,48	44,385	1547,26	638	0,41	0,38	0,07	100		
7.2	-	-	-	-	-	-			-	-	-
7.3	44,39	44,72	44,555	1559,13	474	0,30			100		
7.4	44,88	44,40	44,64	1565,09	660	0,42			100		
8.1	44,79	44,52	44,655	1566,14	869	0,55	0,48	0,10	80	20	
8.2	44,56	44,81	44,685	1568,24	481	0,31			100		
8.3	44,29	44,30	44,295	1540,99	567	0,37			100		
8.4	44,25	44,43	44,34	1544,12	786	0,51			90	10	
9.1	44,38	44,47	44,425	1550,05	401	0,26	0,52	0,07	90	10	
9.2	44,40	44,57	44,485	1554,24	692	0,45			100		
9.3	44,47	44,61	44,54	1558,08	887	0,57			80	20	
9.4	44,61	44,71	44,66	1566,49	873	0,56			80	20	

* Os valores em vermelho foram desconsiderados nas análises estatísticas.

Fonte: Do Autor, 2020.

APÊNDICE G – Tabela de resistência à tração na flexão das amostras após 150 dias de exposição às intempéries

Amostra	F _v (N)	R _f (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	1.047,20	2,45		
R.2	901,58	2,11		
R.3	943,90	2,21	2,25	0,14
R.4	1.024,10	2,40		
R.5	906,66	2,12		
1.1	828,11	1,94		
1.2	631,41	1,48		
1.3	576,22	1,35	1,50	0,03
1.4	655,45	1,54		
1.5	630,39	1,48		
2.1	595,18	1,39		
2.2	566,75	1,33		
2.3	520,36	1,22	1,27	0,05
2.4	541,35	1,27		
2.5	517,99	1,21		
3.1	672,04	1,58		
3.2	616,85	1,45		
3.3	605,68	1,42	1,43	0,01
3.4	606,36	1,42		
3.5	581,64	1,36		
4.1	486,17	1,14		
4.2	592,81	1,39		
4.3	582,66	1,37	1,26	0,10
4.4	526,46	1,23		
4.5	497,34	1,17		
5.1	614,14	1,44		
5.2	536,27	1,26		
5.3	536,95	1,26	1,28	0,03
5.4	408,98	0,96		
5.5	559,64	1,31		
6.1	565,73	1,33		
6.2	553,88	1,30		
6.3	552,53	1,29	1,31	0,02
6.4	658,83	1,54		
6.5	553,20	1,30		

Amostra	F _v (N)	R _f (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
7.1	403,90	0,95		
7.2	440,12	1,03		
7.3	519,69	1,22	1,07	0,13
7.4	411,01	0,96		
7.5	600,94	1,41		
8.1	407,96	0,96		
8.2	420,15	0,98		
8.3	468,22	1,10	1,05	0,06
8.4	459,08	1,08		
8.5	465,52	1,09		
9.1	533,57	1,25		
9.2	541,01	1,27		
9.3	446,90	1,05	1,30	0,08
9.4	700,48	1,64		
9.5	594,85	1,39		

* Os valores em vermelho foram desconsiderados nas análises estatísticas.

Fonte: Do Autor, 2020.

APÊNDICE H – Tabela de resistência à compressão das amostras após 150 dias de exposição às intempéries

Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	14.864	9,29			2.1	6.944	4,34		
R.2	13.664	8,54			2.2	6.592	4,12		
R.3	14.448	9,03			2.3	6.384	3,99		
R.4	13.952	8,72			24	6.944	4,34		
R.5	15.344	9,59	8,96	0,61	2.5	6.304	3,94	4,17	0,19
R.6	12.336	7,71			2.6	7.216	4,51		
R.7	15.984	9,99			2.7	6.800	4,25		
R.8	14.304	8,94			2.8	6.656	4,16		
R.9	14.160	8,85			2.9	6.656	4,16		
R.10	14.224	8,89			2.10	6.240	3,90		
1.1	8.064	5,04			3.1	7.088	4,43		
1.2	8.832	5,52			3.2	7.008	4,38		
1.3	7.984	4,99			3.3	7.424	4,64		
1.4	9.040	5,65			3.4	7.424	4,64		
1.5	7.424	4,64	5,04	0,42	3.5	6.800	4,25	4,45	0,16
1.6	6.864	4,29			3.6	7.216	4,51		
1.7	7.856	4,91			3.7	7.568	4,73		
1.8	8.768	5,48			3.8	6.944	4,34		
1.9	8.208	5,13			3.9	6.864	4,29		
1.10	7.648	4,78			3.10	6.864	4,29		

Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
4.1	6.240	3,90			6.1	5.392	3,37		
4.2	5.824	3,64			6.2	5.600	3,50		
4.3	5.824	3,64			6.3	5.600	3,50		
4.4	5.536	3,46			6.4	5.536	3,46		
4.5	5.824	3,64	3,58	0,20	6.5	5.680	3,55	3,60	0,21
4.6	5.600	3,50			6.6	5.744	3,59		
4.7	6.240	3,90			6.7	6.384	3,99		
4.8	5.328	3,33			6.8	6.240	3,90		
4.9	5.536	3,46			6.9	5.472	3,42		
4.10	5.328	3,33			6.10	5.952	3,72		
5.1	6.512	4,07			7.1	3.792	2,37		
5.2	5.824	3,64			7.2	3.568	2,23		
5.3	5.952	3,72			7.3	4.000	2,50		
5.4	6.176	3,86			7.4	4.000	2,50		
5.5	5.744	3,59	3,65	0,35	7.5	3.920	2,45	2,42	0,09
5.6	6.512	4,07			7.6	3.856	2,41		
5.7	4.976	3,11			7.7	3.856	2,41		
5.8	4.832	3,02			7.8	3.792	2,37		
5.9	6.096	3,81			7.9	3.856	2,41		
5.10	5.824	3,64			7.10	4.064	2,54		

Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Amostra	F _c (N)	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
8.1	4.128	2,58			9.1	4.064	2,54		
8.2	4.352	2,72			9.2	4.272	2,67		
8.3	4.416	2,76			9.3	4.128	2,58		
8.4	4.352	2,72			9.4	4.272	2,67		
8.5	4.064	2,54			9.5	4.000	2,50		
8.6	4.128	2,58	2,70	0,10	9.6	4.128	2,58	2,58	0,06
8.7	4.480	2,80			9.7	4.064	2,54		
8.8	4.416	2,76			9.8	4.128	2,58		
8.9	4.480	2,80			9.9	4.208	2,63		
8.10	4.352	2,72			9.10	4.064	2,54		

Fonte: Do Autor, 2020.