



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
TAINAR RODRIGUES DOS SANTOS

ARGAMASSA CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO DE FIBRAS A BASE DE POLIÉSTER

ESTÂNCIA
2021

TAINAR RODRIGUES DOS SANTOS

ARGAMASSA CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO DE FIBRAS A BASE DE POLIÉSTER

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Instituto Federal de Sergipe como pré-requisito para à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Augustus Remacre Munareto Lima

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Elaine Meneses Souza Lima

ESTÂNCIA

2021

S237a Santos, Tainar Rodrigues dos.
Argamassa cimentícia com adição de fibras a base de poliéster. / Tainar Rodrigues dos Santos. - Estância, 2021.
89 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Augustos Remacre Munareto Lima
Coorientadora: Profa. Dra. Elaine Menezes Souza Lima

1. Argamassa. 2. Durabilidade. 3. Dureza superficial. 4. Pontes de transferências de tensões. 5. Propagação de fissuras. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Lima, Thiago Augustos Remacre Munareto. III. Lima, Elaine Menezes Souza. IV. Título.

CDU: 624:666.971.4



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 — Loteamento Garcia, Bairro Jardins CEP 49025-330 —
Aracaju/SE Fone: (79) 3711 1400 — E-mail: reitoria@ifs.edu.br

**APÊNDICE 10 - TERMO DE APROVAÇÃO
(com coorientador)**

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia: ARGAMASSA CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO DE FIBRAS A BASE DE POLIÉSTER

NOME DO AUTOR: Tainar Rodrigues dos Santos

Esta monografia foi apresentada às 10:00 horas do dia 27 de maio de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos examinadores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Adriano Borges Andrade
Avaliador (UFS)

Prof. Herbet Alves de Oliveira
Avaliador (IFS)

Prof. Thiago Augustus Remacre Munareto Lima
(IFS – Campus estância)
Orientador(a)

Prof(a). Elaine Meneses Souza Lima
Co-orientadora (IFS)

Prof. Marcos Elan Alves de Araujo IFS - Campus Estância

Assinatura do (a) Coordenador (a) do Curso

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha mãe, Josefa Amaro dos Santos, que apesar das dificuldades e adversidades da vida, sempre me incentivou a correr atrás dos meus objetivos, independentemente do quão difícil fosse.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, pela graça alcançada, por me dar forças e sabedoria nos momentos de dificuldades. E que mesmo em um momento tão difícil de pandemia, me permitiu estar realizando um sonho.

É importante reconhecer e agradecer a todos que em diversos momentos de minha vida acadêmica estiveram sempre ao meu lado, nos momentos de alegria e de frustração. Agradeço de coração a cada pessoa que esteve comigo.

Aos meus pais, Josefa Amaro dos Santos e José Domingos Rodrigues dos Santos, pelo apoio e acolhimento nos momentos de dificuldades, além de todo o suporte nessa longa caminhada.

Agradeço os meus irmãos, Domingos Rodrigues dos Santos e Thais Rodrigues dos Santos, a minha cunhada, Fernanda Santos de Oliveira e minha sobrinha Agatha Rodrigues de Oliveira Santos, por compreender minha ausência nesses últimos anos e por toda a ajuda, na realização dos procedimentos experimentais.

A meu namorado Flávio Oliveira Santana, agradeço pelo companheirismo e amizade durante todo o desenvolvimento do curso, nos momentos felizes como também nos momentos de dificuldades e noites sem dormir, porque precisava entregar um trabalho no dia seguinte e ainda nem tinha começado. E pelo apoio incondicional, por muitas vezes deixar seus afazeres do TCC e demais responsabilidade para me aconselhar e ajudar.

Agradeço a minha sogra Annelita Costa Oliveira e minha prima Sintique Tainah Costa Freire, por sempre me incentivar e apoiar no meu desenvolvimento acadêmico. Além, de sempre ter uma palavra de conforto e sabedoria.

Aos meus amigos e familiares, por suas orações e apoio, muito obrigada!

Agradeço a meu orientador Prof. Dr. Thiago Augustus Remacre Munareto Lima, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória e mesmo estando a distância por causa das circunstâncias adversas, que é desenvolver uma pesquisa experimental em tempo de pandemia, esteve sempre presente e possibilitou a finalização desta pesquisa.

A minha coorientadora Elaine Menezes Lima de Souza que, apesar da intensa rotina da sua vida acadêmica, sempre se mostrou solícita em ajudar, nos experimentos e dúvidas, durante o decorrer dessa pesquisa.

Ao grupo de pesquisa intitulado Núcleo de Materiais Avançados, Compósitos e Componentes para Construção Civil, a todos os integrantes pela ajuda nos procedimentos experimentais, em especial a Flávio Oliveira Santana, por muitas vezes ter deixado seus afazeres para se dedicar a nossa pesquisa, não importando as dificuldades ou a distância.

Agradeço a Prof^ª. Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo e a Prof^ª. Dra. Angelina Maria de Almeida, pela contribuição durante a realização desta pesquisa.

A minha banca examinadora Prof. Dr. Adriano Borges Andrade e Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira, por ter aceitado participar e agregar ainda mais valor ao meu TCC.

Ao Instituto Federal de Sergipe (IFS), pela estrutura disponibilizada, não só a física, mas principalmente o acolhimento que nós alunos recebemos.

Ao professor Dr. Victor Hugo Vitoriano Sarmiento, professor adjunto IV do Departamento de Química da Universidade Federal de Sergipe - Campus Prof. Alberto de Carvalho em Itabaiana/SE e ao professor Dr. Fernando Dal Pont Morisso, professor do curso de Farmácia e do curso de Engenharia Química da Universidade Feevale em Porto Alegre/ RS. Por contribuírem de forma significativa na realização do ensaio de caracterização e avaliação da degradação das fibras por Espectroscopia no Infravermelho.

Agradeço também a Indústria Têxtil Sergitex pelo fornecido dos resíduos, provenientes da confecção do jeans, utilizado no desenvolvimento dessa pesquisa.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Sonhar grande dá o mesmo trabalho que sonhar pequeno. ”
(LEMANN, Jorge Paulo, 1997)

RESUMO

As argamassas de cimento Portland frequentemente estão sujeitas ao aparecimento de fissuras, ocorrendo em sua grande parte, por conta dos efeitos de retração ou das movimentações higrotérmicas. Visando a restrição e redução de tais fissuras, optou-se por incorporar fibras à base de poliéster, provenientes de rebarbas da indústria têxtil local, em argamassas de cimento Portland. A reutilização de resíduos de fibras é uma alternativa que também visa minimizar os impactos ambientais, visto que, são geradas 108 toneladas de resíduo de “rebarbas” ao ano, provenientes do processo de confecção de jeans pela indústria têxtil Sergitex, situada no município de Estância. Nesse trabalho, foram produzidas argamassas com 0,075% e 0,10% de fibras à base de poliéster, em relação ao volume total de argamassa, buscando investigar os benefícios dessa incorporação nas propriedades mecânicas. Nos corpos de provas preparados, foram realizadas análises quanto ao aparecimento de fissuras nas argamassas com adições de fibras no estado fresco, devido a retração plástica, e no estado endurecido por movimentações higrotérmicas. O procedimento experimental é baseado nos ensaios mecânicos de esclerometria e impacto de corpo duro nos corpos de prova de argamassa aos 28 dias, medidas de espectroscopia no infravermelho e rotina experimental de degradação nas fibras por soluções alcalinas e ácidas. Ao avaliar os resultados dos ensaios mecânicos, para os traços de argamassas com adição de 0,075% e 0,10% de fibras a base de poliéster, como também a durabilidade das fibras imersas em soluções alcalinas e ácidas, conclui-se que as fibras à base de poliéster apresentam excelente durabilidade a meios eletrolíticos agressivos da matriz cimentícia, além de serem boas candidatas a exercerem duradouras pontes de transferência de tensão nos interstícios dos poros das argamassas. No entanto, observou-se que, a dureza superficial das argamassas sofre um certo impacto com a adição de maiores quantidades das fibras no traço. Concluiu-se que quanto maior o percentual de fibras na matriz, a argamassa desempenhará valores inferiores de dureza superficial e isto afeta diretamente o estado fissurado, apresentando assim, perfis de propagação de fissuras mais frágeis.

Palavras-chave: Argamassa. Durabilidade. Dureza superficial. Pontes de transferências de tensões. Propagação de fissuras.

ABSTRACT

The Portland cement mortars are often subject to the appearance of cracks, occurring in most of cases due to the effects of shrinkage or hygrothermal movements. Aiming to restrict and reduce such cracks, it was decided to incorporate polyester-based fibers from burrs of the local textile industry, in Portland cement mortars, this reuse of fiber residues is an alternative that also aims to minimize environmental impacts, since 108 tons of “burr” residue are generated each year, from the process of making denim by the textile industry Sergitex, located in the municipality of Estância. In this work, mortars were produced with 0.075% and 0.1% polyester-based fibers, in relation to the total volume of mortar, seeking to investigate the benefits of this incorporation in the mechanical properties. In the prepared specimens, analyzes were carried out for the appearance of cracks in mortars with addition of fibers in the fresh state, due to plastic retraction, and in the state hardened by hygrothermal movements. The experimental procedure is based on mechanical tests of sclerometry and hardbody impact on mortar specimens at 28 days, infrared spectroscopy measurements and experimental fiber degradation routine by alkaline and acid solutions. When evaluating the results of the mechanical tests, for the mortar traces with addition of 0.075% and 0.10% of polyester-based fibers as well as the durability of the fibers immersed in alkaline and acidic solutions, it is concluded that the fibers based of polyester present excellent durability to aggressive electrolytic media of the cementitious matrix, in addition to being good candidates to exert long-lasting stress transfer bridges in the interstices of mortar pores. However, it was observed that, the surface hardness of mortars suffers a certain impact with the addition of major quantities of fibers in the mix, it was concluded that the higher the percentage of fibers in the matrix, the mortar will perform lower values of surface hardness and this directly affects the cracked state, thus presenting more fragile crack propagation profiles.

Keywords: Mortar Subfloor. Durability. Cracks. Hygrothermal Movements. Retraction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de uma pasta de cimento Portland bem hidratada	25
Figura 2 – Principais causas de Fissuras	26
Figura 3 – Fissuras: (A) fissura geométrica; (B) fissuras mapeadas	27
Figura 4 – Fissuras devido a retração na argamassa	29
Figura 5 – Atuação das fibras como reforço	30
Figura 6 – Esclerômetro de reflexão Schmidt	33
Figura 7 – Cadeia manométrica do poliéster	37
Figura 8 – Cadeia manométrica do elastano	38
Figura 9 – Técnica de recobrimento	38
Figura 10 – Fibras PET visualizada por MEV: (A) natural; (B) após 150 dias e (C) após 360 dias	39
Figura 11 – (A) Imagem MEV e (B) espectro de FTIR de uma fibras PET exposta a uma solução de H₂SO₄ 10 mol.L ⁻¹ a 50°C após 150 dias	40
Figura 12 – Fibras PET analisadas por MEV: (A) imersa em solução de hidróxido de cálcio e (B) solução de Lawrence	41
Figura 13 – Espectro de infravermelho de partículas precipitadas em solução de Ca(OH) ₂ (25 e 50 ° C) e em Solução Lawrence (50 ° C), após exposição das fibras PET por 150 dias	41
Figura 14 – Fluxograma do programa experimental	43
Figura 15 – Fibras a base de poliéster: (A) como recebida da fábrica e (B) desagregada em laboratório	44
Figura 16 – Fibras a base de poliéster pré-saturadas	47
Figura 17 – Procedimento adotado para mistura das argamassas	48
Figura 18 – Adição das fibras a base de poliéster na argamassa	49
Figura 19 – Fôrmas de madeira	50
Figura 20 – Confeção dos corpos de prova para análise quanto ao aparecimento de fissuras	51
Figura 21 – Lupa de escala iluminada	51
Figura 22 – Confeção dos corpos de prova para os ensaios de esclerometria e corpo duro	52
Figura 23 – Processo de desforma e cura das placas (A) desforma (B) Cura	52
Figura 24 – Esclerômetro utilizado no ensaio	53
Figura 25 – Gabarito usado no ensaio de esclerometria	54
Figura 26 – Corpo de prova apoiado e pronto para o ensaio de esclerometria	54

Figura 27 – Área e posição do ensaio	55
Figura 28 – Gráfico do manual de uso e operação do aparelho de correlação entre o índice esclerométrico médio e a resistência	56
Figura 29 – Esquema de ensaio de avaliação de resistência ao impacto de corpo duro	57
Figura 30 – Adaptação do esquema de ensaio de avaliação de resistência ao impacto de corpo duro	58
Figura 31 – Placas de argamassa de 1,20 m (comprimento) x 1,00 m (largura) x 0,03 m (espessura), após 14 dias	59
Figura 32 – Placas de argamassa de 2,40 m (comprimento) x 0,80 m (largura) x 0,03 m (espessura), após 14 dias	60
Figura 333 – Placas de argamassa de 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 0,03 m (espessura), após 14 dias	60
Figura 34 – Média dos Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias	64
Figura 35 – Energia de impacto (6,72 J): (A) traço padrão, (B) traço AF75 e (C) traço AF100	66
Figura 36 – Energia de impacto (10,56 J): (A) traço padrão, (B) traço AF75 e (C) traço AF100	67
Figura 37 – Grupo 1, energia de impacto (6,72 J)	70
Figura 38 – Grupo 2, energia de impacto (6,72 J)	72
Figura 39 – Grupo 3, energia de impacto (6,72 J)	74
Figura 40 – Espessura média de abertura de fissuras, energia de impacto (6,72 J)	74
Figura 41 – Grupo 1, energia de impacto (10,56 J)	76
Figura 42 – Espectro de infravermelho da fibra a base de poliéster	78
Figura 43 – Espectro de infravermelho das fibras submetidas a presença de soluções alcalinas e ácidas	80
Figura 44 – Fibra a base de poliéster submetida a locução de Lawrence, por 8 meses	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das argamassas segundo as suas funções	23
Quadro 2 – Amostras para o ensaio de degradação	46
Quadro 3 – Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias nos corpos de prova do traço padrão	62
Quadro 4 – Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias nos corpos de prova do traço AF75	63
Quadro 5 – Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias nos corpos de prova do traço AF100	63
Quadro 6 – Grupo 1, energia de impacto (6,72 J)	69
Quadro 7– Grupo 2, energia de impacto (6,72 J)	71
Quadro 8 – Grupo 3, energia de impacto (6,72 J)	73
Quadro 9 – Grupo 4, energia de impacto (10,56 J)	75
Quadro 10 – Amostras ensaiadas	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Manifestações patológicas	26
Tabela 2 – Propriedades físicas das fibras poliméricas	36
Tabela 3 – Soluções agressivas que simulam o ambiente químico da matriz cimentícia	45
Tabela 4 – Traço: argamassa com adição de 0,075% de fibras (AF75) e argamassa com adição de 0,10% de fibras (AF100)	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – American Concrete Institute

CIT – Companhia Indústria Têxtil

E – Energia

esp. – Espessura

FTIR – Espectroscopia no Infravermelho, por Transformada de Fourier

IE – Índice Esclerométrico

IE's – Índices Esclerométricos

IE_{m,cp} – Índice Esclerométrico médio do corpo de prova

IE_{mf,cp} – Índice Esclerométrico médio final do corpo de prova

K – Constante elástica

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

NBR – Norma Brasileira

PCDT – tereftalato de poli-1, 4-ciclo-hexileno-dimetileno

PET – Polietileno Tereftalato

PIBIT – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento e Inovação

PROPEX – Pró-reitora de Pesquisa e Extensão

WFS – Woven fabric subwaste (sub resíduos do tecido)

WFW – woven fabric waste (resíduos do tecido)

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

$\leq$ – Menor igual

$\geq$ – Menor igual

°C – Graus Celsius

a/c – Fator Água / Cimento

AF100 – Traço com adição de 0,075% de fibras

AF75 – Traço com adição de 0,075% de fibras

C₃A – Aluminato tricálcico

Ca(OH)₂ – Hidróxido de cálcio

cm – Centímetro

CP II F – Cimento Portland composto com material carbonático

C-S-H – Silicato de Cálcio Hidratado

E – Energia de impacto

*F*_{ck} – Resistência característica do concreto

g – Grama

g – Gravidade

g/cm³ – Grama por centímetro cúbico

g/l – Grama por litro

g/m³ – Grama por metro cúbico

GPa –Giga Pascal

h – Altura de lançamento

H₂SO₄ – Ácido sulfúrico

J – Joule

KBr – Brometo de potássio

Kg – Quilograma

kg/m³ – Quilograma por metro cúbico

KOH – Hidróxido de potássio

l – Litro

m – Massa do indentor (corpo duro) de 0,960 Kg com diâmetro de 5 cm

m – Metro

m/s² – Metro por segundo ao quadrado

mg – Miligrama

ml – mililitros

mm – Milímetro

mol.L⁻¹ – Molaridade

MPa – Mega Pascal

N – Newton

NaOH – Hidróxido de sódio

Nm – Comprimento de onda

pH – Potencial hidrogeniônico

T1 – Água destilada

T2 – Solução de Lawrence

T3 – Ácido sulfurico 10 mol.L⁻¹

T4 – Água destilada

T5 – Solução de Lawrence

T6 – Ácido sulfurico 10 mol.L⁻¹

T7 – Fibra *in nature*

T8-A –Hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹

T9-A – Hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA	20
1.2	HIPÓTESE	21
1.3	OBJETIVOS	22
1.3.1	Objetivo geral	22
1.3.2	Objetivos específicos	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	ARGAMASSA	23
2.1.1	Argamassa de cimento Portland	24
2.2	PRINCIPAIS CAUSAS DE FISSURAÇÃO EM ARGAMASSAS	25
2.2.1	Retração plástica	27
2.2.2	Movimentações higrotérmicas	28
2.2.3	Fissuras devido a retração plástica e movimentações higrotérmicas	28
2.3	ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE FIBRAS SINTÉTICAS	29
2.3.1	Propriedades no estado fresco e endurecido	31
2.3.1.1	<i>Trabalhabilidade</i>	31
2.3.1.2	<i>Retração</i>	31
2.3.1.3	<i>Resistência a compressão</i>	32
2.3.1.4	<i>Dureza superficial</i>	33
2.3.1.5	<i>Resistência ao impacto</i>	34
2.3.2	Fibras de resíduos resultantes da indústria	34
2.3.3	Fibras sintéticas	36
2.3.3.1	<i>Fibras de poliéster</i>	37
2.3.3.2	<i>Fibras de elastano</i>	37
2.4	DURABILIDADE DA FIBRA A BASE DE POLIÉSTER EMPREGADA EM ARGAMASSA CIMENTÍCIA	38
2.4.1	Degradação das fibras sintéticas	39

3	METODOLOGIA	43
3.1	AQUISIÇÃO DAS FIBRAS	44
3.2	CARACTERIZAÇÃO E ENSAIO DE DEGRADAÇÃO DAS FIBRAS	44
3.2.1	Soluções para degradação das fibras	44
3.2.2	Espectroscopia no Infravermelho	46
3.3	PREPARAÇÃO DO TRAÇO	46
3.3.1	Mistura do traço	47
3.4	PRODUÇÃO DOS GABARITOS DOS CORPOS DE PROVA	49
3.5	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	50
3.6	PROCESSO DE CURA	52
3.7	PROPRIEDADES AVALIADAS	53
3.7.1	Dureza superficial	53
3.7.2	Resistência a impacto de corpo duro	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	INVESTIGAÇÃO DO APARECIMENTO DE FISSURAS	59
4.2	DUREZA SUPERFICIAL	61
4.3	IMPACTO DE CORPO DURO	65
4.3.1	Correlação entre o ensaio de corpo duro e esclerometria	68
4.4	CARACTERIZAÇÃO E DURABILIDADE DAS FIBRAS	77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84

1 INTRODUÇÃO

Embora os materiais cimentícios seja um dos mais empregados para inúmeras aplicações na indústria da construção, estes possuem uma série de propriedades indesejáveis que precisam ser reparadas. Uma vez que, apesar do concreto e da argamassa cimentícia apresentarem bom desempenho mecânico sob tensão de compressão, os mesmos, possuem baixa capacidade de resistência aos esforços de tração, sendo necessário a inserção de materiais no traço com boa resistência à tração, para combater tal deficiência. Usualmente, o material mais empregado para tal finalidade são as barras metálicas, porém uma outra alternativa é a inserção de fibras discretas no concreto e na argamassa, durante o processo de mistura (DOPKO, 2018).

Segundo o *American Concrete Institute* – ACI 544.1R (2002), desde os tempos antigos, as fibras são utilizadas para reforçar materiais quebradiços. Hoje em dia, uma ampla variedade de materiais de engenharia, incluindo cerâmica, plástico, cimento e produtos de gesso, incorporam fibras para aprimorar as propriedades dos compósitos. De acordo com Pelisser (2002), vários tipos de fibras podem ser adicionadas aos materiais cimentícios, formando assim um novo material. Usualmente utilizado em aplicações específicas como pavimentos, meios fios, pré-moldados, blocos de concreto e pistas de aeroportos. As adições dessas fibras proporcionam ao concreto e a argamassa propriedades como redução da retração plástica, aumento da tenacidade, ductilidade, resistência ao impacto e um possível aumento da resistência à tração.

As fibras adicionadas a matriz cimentícia, atuam de forma a criar pontes entre as fissuras, controlando a propagação e abertura destas. Atualmente, as fibras mais utilizadas como reforço secundário no concreto armado são as fibras de polipropileno e aço, ambas com a função de controlar a abertura e propagação de fissuras. As fibras de aço são mais aplicadas para combater as fissuras de médio e longo prazo, ocasionadas por efeitos de cargas cíclicas e impactos, e as fibras de polipropileno mais usadas para combater os efeitos da retração, nas primeiras idades do concreto (PEREIRA, 2017).

De acordo com Nunes e Figueiredo (2007), a retração, é uma das propriedades da pasta de cimento, e este caracteriza-se como uma variação volumétrica, fazendo com que o material sofra uma redução em seu volume ao longo do tempo. Nos concretos e argamassas, a retração está associada principalmente a perda de água da mistura para o ambiente externo, em que, segundo Silva (2011), esse fenômeno é a principal causa das fissuras que ocorrem nas

argamassas de revestimentos nas primeiras 24 horas. Ainda segundo o autor, a fissuração é um dos fenômenos patológicos de maior incidência em revestimentos de argamassas. Sendo assim, conforme Minari Júnior (2018), muitos pesquisadores têm estudado materiais que possam ser aplicados para melhorar o desempenho das argamassas, de forma a minimizar essa patologia tão recorrente, entre estes materiais, destacam-se as argamassas reforçadas com fibras.

Silva (2011) avaliou os efeitos da adição de fibras, quanto a retração em argamassas de revestimento e constatou uma redução significativa na retração por secagem e na retração livre, em argamassas com fibras comparada com as sem fibras de polipropileno. Já Silva Júnior (2013), ao estudar argamassas, com e sem reforço de fibras de poliéster, constatou em seus experimentos um aumento de 13,4% na resistência a tração quando comparado com as argamassas sem fibras. As argamassas com adições, também apresentaram melhores resultados, quanto ao aparecimento das primeiras fissuras e no rompimento dos corpos de prova, absorvendo maior energia até a sua ruptura, com um valor de 46,3%, superior a energia absorvida pela argamassa de referência, sem adições.

Segundo Betioli (2003), uma variedade de fibras vem sendo adicionadas em matrizes cimentícias, entre elas fibras de aço, vidro, fibras naturais e sintéticas. Porém, para que essas fibras desempenhem seu papel como reforço, as mesmas devem apresentar duas características fundamentais: I) Serem duráveis no interior de concretos e argamassas e II) Apresentarem boa sinergia com a microestrutura da matriz cimentícia, possibilitando uma transferência de esforços entre a matriz cimentícia e as cadeias de fibras. Entretanto, na literatura existem poucos estudos relacionados à durabilidade de algumas fibras sintéticas, entre elas as fibras de poliéster, quando utilizadas em matrizes cimentícias, bem como, a eficiência das fibras a base de poliéster em restringir fissuras e trincas em argamassas e concreto de cimento Portland.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com informações publicadas pelo mais recente cadastro industrial do estado em 2012, Sergipe dispõe de um total de 13 fábricas têxteis em operação, sendo 8 delas nos municípios de Aracaju, Nossa Senhora do Socorro e Estância. Tornando assim, os três principais polos têxteis do estado. O município de Estância conta com quatro indústrias têxteis em operação, Santa Mônica, Sergitex, CIT - Companhia Industria Têxtil e Atual têxtil. Sendo a Sergitex a única fábrica de confecção de jeans, onde durante o processo de trefilagem com fiação de fibras artificiais e sintéticas, são gerados resíduos em forma de “rebarbas” de fibras

constituídas por 92% de poliéster e 8% de elastano do fabricante Shaoxing Pantian Chemical Fiber Co., Ltd.

Segundo Meneguci et al. (2015), as indústrias têxteis apresentam-se como grandes geradoras de resíduos sólidos, na qual durante o processo de confecção no setor vestiário, principalmente durante o processo de corte, são geradas toneladas de retalhos, muitas vezes descartados em aterros sanitários. Conforme Bristes et al. (2006), as fibras de poliéster estão entre as fibras sintéticas, com maior consumo no setor têxtil, representando mais de 50% da demanda total de fibras químicas utilizadas. De acordo com informações fornecidas pela indústria têxtil Sergitex, são geradas 108 toneladas de resíduos de “rebarbas” por ano, justificando dessa forma, o reaproveitamento “nobre” da fibra e a diminuição do impacto ambiental.

Materiais e componentes produzidos com cimento Portland, apresentam inúmeras vantagens, principalmente em relação a compressão axial, no entanto, por ser um material cerâmico, possui ruptura frágil e quando submetido a esforços de tração, se rompe repentinamente quando sua resistência mecânica for superada. Sendo assim, o uso de fibras incorporada à matriz cimentícia pode contribuir para que essa restrição seja superada ou até controlada (SILVA, 2006). Tendo em vista que a Sergitex não possui atualmente, emprego como reaproveitamento para os resíduos gerados a partir da confecção do jeans, surge a possibilidade da reutilização dessas rebarbas de fibras a base de poliéster na produção de argamassas reforçadas com fibras, oferecendo assim, um destino alternativo para esses resíduos.

1.2 HIPÓTESE

A pesquisa em questão visa a incorporação de fibras a base de poliéster em argamassas, tendo como hipótese a restrição da abertura e redução da propagação de fissuras em placas de argamassa, devido a durabilidade das fibras e sua interação com a matriz cimentícia provenientes dos traços de argamassa desenvolvidos.

Os resultados deste trabalho de conclusão de curso, faz referência ao projeto de pesquisa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento e Inovação (PIBIT) intitulado “Desenvolvimento de argamassa cimentícia autocicatrizante e antifissurante com adição de fibras em poliéster de polímeros superabsorvente para aplicação em reservatórios e sistemas de drenagem”, concedido pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão (PROPEX), do Instituto Federal de Sergipe nos anos de 2018 a 2019. Em que neste, foi observado uma diminuição substancial no perfil de fissuramento em placas de argamassa, contendo as fibras proveniente de resíduos da indústria têxtil.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver argamassa cimentícia com adição de fibras à base de poliéster, proveniente do processo de trefilagem do jeans da indústria têxtil Sergitex, situada no município de Estância/SE, quanto a capacidade das fibras em diminuir ou dirimir, o estado de abertura e propagação de fissuras em argamassas cimentícias.

1.3.2 Objetivos específicos

- Explorar o estudo do estado da arte sobre a incorporação de fibras sintéticas e resíduos de fibras têxteis em argamassas;
- Elaborar traço de argamassa com adições de fibras à base de poliéster;
- Analisar os benefícios da incorporação das fibras à base de poliéster nas propriedades mecânicas das argamassas;
- Avaliar a degradação das fibras à base de poliéster imersas em soluções agressivas que simulam o ambiente químico da matriz cimentícia através de ensaios de caracterização físico-química.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ARGAMASSA

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13281: 2005, a argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, podendo conter ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, sendo esta dosada em obra ou em instalações próprias. Existem também as argamassas industrializadas, que são descritas pela mesma norma como sendo um produto composto por aglomerantes de origem mineral, agregado miúdo e eventualmente aditivos, onde o usuário adiciona apenas a quantidade de água requerida.

Recena (2012), considera as argamassas como um elemento de um sistema e não isoladamente como um material, então levando em consideração sua interação com o substrato e com o ambiente, é possível admitir como sendo funções primordiais da mesma: impermeabilizar o substrato de aplicação, garantir bom acabamento ao paramento revestido, absorver as deformações naturais a que uma estrutura está sujeita, regularizar e/ou proteger mecanicamente substratos constituídos por sistemas de impermeabilização ou isolamento termoacústico. Já Carasek (2017), classifica as argamassas conforme as funções que estas irão exercer, Quadro 1.

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

Quadro 1 – Classificação das argamassas segundo as suas funções

Fonte: Adaptado de Carasek, 2017.

As argamassas podem ser classificadas quanto à sua forma de endurecimento e resistência à umidade, como argamassas hidráulicas e aéreas, ou ainda, quanto à natureza do aglomerante,

sua utilização, volume de pasta, granulometria do agregado ou sua forma de produção. As argamassas hidráulicas, cujo aglomerante utilizado é o cimento Portland, necessitam de água para a hidratação de seus compostos básicos e após o endurecimento, mesmo em condições de saturação apresentam boa resistência à umidade. Já as argamassas aéreas, cujo aglomerante utilizado pode ser o gesso ou a cal hidratada, também necessitam de água para que ocorra a hidratação de seus compostos, além da exposição ao ar, porém, ao contrário das argamassas cimentícias após o endurecimento, estas não representam boa resistência à umidade quando submetida a presença de água (RECENA, 2012).

2.1.1 Argamassa de cimento Portland

As argamassas cimentícias possuem como principal aglomerante o cimento Portland, cujo produto é obtido a partir da moagem do clínquer com uma pequena quantidade de sulfato de cálcio. Já o clínquer, este é constituído de vários compostos produzidos por reações a altas temperaturas, sendo eles: o óxido de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro (METHA; MONTEIRO, 2008).

Ainda segundo o autor, o processo de hidratação do cimento para formar a pasta, que juntamente com o agregado miúdo resulta na argamassa (produto final), ocorre quando o cimento entra em contato com a água, pois o sulfato de cálcio e os compostos de cálcio, começam a entrar em solução, e a fase líquida se torna rapidamente saturada com várias espécies de íons. E dentro de poucos minutos da hidratação do cimento, começam a aparecer cristais aciculares de trissulfoaluminato de cálcio hidratado, conhecido como etringita, devido a interação entre cálcio, sulfato, aluminato e íons hidroxilas. Poucas horas mais tarde, grandes cristais prismáticos de hidróxidos de cálcio e pequenos cristais fibrosos de silicato de cálcio hidratado começam a preencher os espaços vazios antes ocupados por água e partículas de cimento em dissolução.

Depois de alguns dias, dependendo da relação alumina-sulfato do cimento Portland, a etringita pode se tornar instável e se decompor para formar o monossulfoaluminato hidratado, que tem a forma de placa hexagonal. Sendo a morfologia de placa hexagonal também uma característica dos aluminatos de cálcio hidratados, normalmente formados em pasta de cimento Portland hidratados contendo baixo teor de sulfato ou alto teor de C_3A , a Figura 1 mostra o modelo de uma pasta de cimento Portland bem hidratada. Em que “A” representa agregação de partículas de C-S-H pouco cristalinas, o “H” representa produtos cristalinos hexagonais como $CH=C_4AH_{19}=C_4A\bar{S}H_{18}$ e o “C” representa cavidades capilares ou vazios que existem quando

os espaços originalmente ocupados com água não estão completamente preenchidos com os produtos da hidratação do cimento.

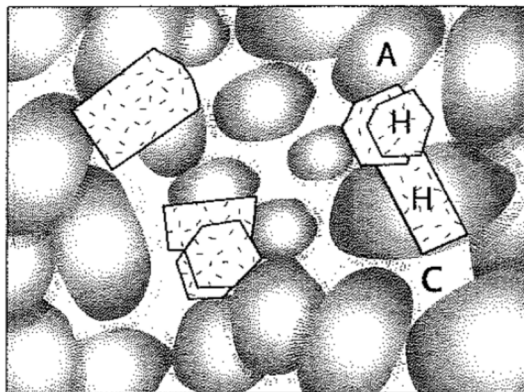


Figura 1 – Modelo de uma pasta de cimento Portland bem hidratada
Fonte: Metha e Monteiro, 2008.

Sendo assim, as argamassas cimentícias obtidas apenas da mistura de cimento Portland, de qualquer tipo e agregado miúdo, dependendo do traço e da relação água/cimento podem apresentar elevada resistência mecânica, além de resistir bem a umidade, sendo indicadas para fundações ou qualquer construção que permaneça em contato com o solo ou água. Podendo esta, ser aplicada como argamassas de regularização, em parâmetros verticais, como reboco, emboço e chapisco, como também em parâmetros horizontais como contrapiso (RECENA, 2012).

2.2 PRINCIPAIS CAUSAS DE FISSURAÇÃO EM ARGAMASSAS

Segundo Silva (2011), o aparecimento de fissuras em concretos e argamassas de cimento Portland, podem ter origem nos procedimentos de projeto, em seu processo de execução, na seleção dos materiais ou até mesmo na proporção dos materiais. Em que, essas fissuras, apresentam-se como prejudiciais ao desempenho, à durabilidade e à estética do revestimento, tornando-os vulneráveis a infiltrações de água e gases, provocando sérias deteriorações, além de comprometer a durabilidade do mesmo, Figura 2.

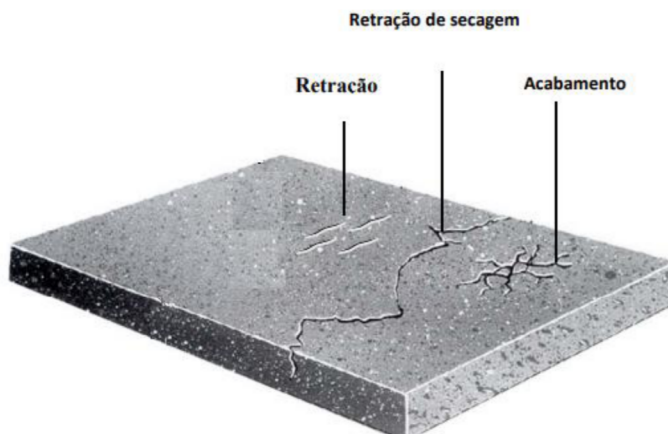


Figura 2 – Principais causas de Fissuras
 Fonte: Adaptado de Granato e Polidoro, 2013.

De acordo com Braga (2010), as fissuras apresentam-se como aberturas finas e compridas, mais de pouca profundidade, normalmente são superficiais e atingem a massa corrida ou a pintura. Já as trincas apresentam-se com aberturas mais acentuadas e profundas do que as fissuras, podendo provocar a separação das partes. E as rachaduras, como aberturas grandes, acentuadas e profundas, provocando divisão das partes assim como nas trincas, porém as rachaduras podem vir a comprometer a estabilidade da edificação tornando-se um risco à segurança do usuário, Tabela 1.

Manifestação patológica	Abertura
Fissura	$\leq 0,5$ (mm)
Trinca	$0,5 \leq e \leq 1,5$ (mm)
Rachadura	$1,5 \leq e \leq 5,0$ (mm)

Tabela 1 – Manifestações patológicas
 Fonte: Adaptado de Ferreira, 2020.

Conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013), as fissuras em revestimentos de argamassa, podem apresentar-se como fissuras geométricas, ou seja, quando estas acompanham o contorno do componente da base, ocasionadas devido à retração higrotérmica, interfaces de base constituída de materiais diferentes, assim como locais onde deveriam ter sido previstas juntas de dilatação e fissuras mapeadas, ocasionadas por retração da argamassa, excesso de finos no traço ou por excesso de desempenamento, apresentando-se em forma de mapas, Figura 3.

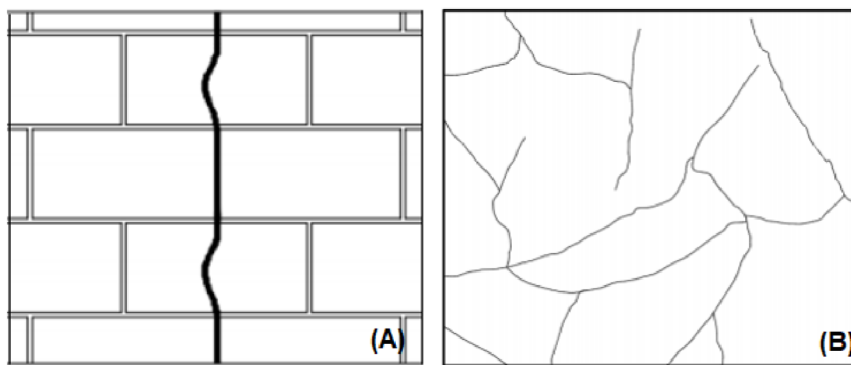


Figura 3 – Fissuras: (A) fissura geométrica; (B) fissuras mapeadas
Fonte: Adaptado de Ferreira, 2020.

A ocorrência de alguns fenômenos patológicos em revestimentos de argamassa cimentícia, estão diretamente relacionadas à retração dos materiais, em que as fissuras desenvolvidas nas argamassas, manifestam-se normalmente por solicitações higrotérmicas e, sobretudo, por retração (PEREIRA, 2007). Conforme Kammler et al. (2016, p 692), solicitação higrotérmica, nada mais é do que “a ação simultânea de dilatação com retração provocada pela absorção de água e pela variação de temperatura nas edificações”.

2.2.1 Retração plástica

Para Nunes e Figueiredo (2007, p. 4), “a retração é uma variação volumétrica de um material ao qual, ao longo do tempo, tem seu volume reduzido”. Segundo Recena (2012), o processo de retração em argamassas de cimento Portland está diretamente ligado à movimentação da água presente na mesma, seja ela no interior da pasta ou desta para o exterior, ocasionando o aparecimento de fissuras, manifestação patológica proveniente da retração. Conforme Sales (2006), existem cinco tipos principais de retração até os 28 dias de cura da argamassa: a retração plástica, a retração por secagem, a retração autógena, a retração térmica e a retração por carbonatação.

A retração plástica em materiais cimentícios ocorrem a partir da perda de água exsudada para a superfície, pelo processo de evaporação ou pela sucção do substrato, com o material ainda no estado fresco. A remoção desta água forma uma série complexa de meniscos capilares, gerando pressões capilares negativas e ocasionando contração volumétrica da pasta de cimento. Além do surgimento de tensões de tração, decorrentes de variações diferenciais de volume por toda a massa de concreto, pelo fato de que os efeitos da retração não são uniformes por toda esta massa. A perda de água por evaporação é uma das principais causas da retração plástica em materiais cimentícios, assim, é necessário controlar os fatores que influenciam na taxa de

evaporação, como a velocidade do vento, umidade relativa do ar e a temperatura, minimizando o processo de fissuração (NUNES; FIGUEREDO, 2007).

2.2.2 Movimentações higrotérmicas

De acordo com Ribeiro e Volkweis (2016), a ocorrência de algumas manifestações patológicas como o aparecimento de fissuras em revestimentos, estão diretamente ligadas a intempéries como variações de temperaturas e umidade do ar, porém, nem sempre os profissionais da área da construção civil, conseguem identificar as causas, pois as fissuras se apresentam muitas vezes com características parecidas, porém com causas diferentes.

Segundo Casotti (2007), as variações de temperaturas as quais os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos ao longo de sua vida útil, ocasionam uma variação dimensional desses elementos, dilatação e contração. Essas movimentações térmicas, estão relacionadas com as propriedades físicas do mesmo e com a intensidade da variação da temperatura. Sendo assim, todos os materiais empregados na construção, estão sujeitos a dilatação com o aumento de temperatura e contração com sua diminuição, em que, a intensidade dessa variação de temperatura, está ligada diretamente a principal fonte de calor ao qual as estruturas estão expostas, ou seja, a radiação solar.

Ainda Segundo Casotti (2007), as mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos, em que o aumento do teor de umidade provoca a expansão do material e sua diminuição provoca uma contração, e havendo vínculos que impeçam ou restrinjam essas movimentações, poderão ocorrer fissuras nos elementos. O aumento no teor de umidade nos materiais pode ser provocado por diversos fatores, entre eles estão: a umidade do ar ou provenientes de fenômenos meteorológicos, nos quais os materiais podem absorver durante a vida útil da construção ou devido a umidade presente no ar e umidade do solo, em que a água presente no solo pode ascender por capilaridade.

2.2.3 Fissuras devido a retração plástica e movimentações higrotérmicas

Conforme Recena (2012), as fissuras provenientes dos efeitos da retração plástica, são fissuras superficiais com pequenas aberturas, causadas principalmente devido ao processo produtivo na fase de acabamento do revestimento, ou quando o desempenamento é iniciado com a argamassa contendo muita plasticidade.

De acordo com Silva (2011), as tensões produzidas nas argamassas, ainda no estado plástico, devido às retrações, podem causar microfissuras, já nos instantes iniciais. Devido à contração volumétrica que é acelerada pela perda de água nas argamassas provocada pela

sucção do substrato ou pela evaporação, há o aparecimento de fissuras visíveis primeiramente na superfície dos elementos, Figura 4.



Figura 4 –Fissuras devido a retração na argamassa
Fonte: Granato e Polidoro, 2013.

De acordo com Silva (2011), as muitas pesquisas sobre fissuração de concreto e argamassas desenvolvidas nos últimos anos associam a fissuração do compósito, principalmente aos efeitos da retração plástica. Porém, são vários os tipos de fissuras, entre elas podemos citar também as fissuras por movimentações térmicas que, segundo Braga (2010), ocorrem devido as variações de temperaturas sazonais e diárias, as quais, os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos, ocasionando assim uma variação dimensional (dilatação ou contração), que poderão causar o aparecimento de fissuras.

As fissuras de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre elementos de um componente, entre componentes de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material. No caso das movimentações térmicas diferenciadas é importante considerar não só a amplitude da movimentação como também a rapidez com que ocorre. Se a movimentação for gradual e lenta, os materiais terão maior facilidade em assimilá-la. As temperaturas de serviço dos materiais serão influenciadas pela localização geográfica da obra (latitude e longitude), zona climática etc. Em função da posição e da cor do componente, pode ser verificada a temperatura de serviço desses componentes (BACHI, 2013).

Segundo Ribeiro e Volkweis (2016), a principal causa de mais de 60% das manifestações patológicas que acontecem em edifícios é proveniente de infiltrações decorrentes de fissuras causadas devido a movimentações higrotérmicas.

2.3 ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE FIBRAS SINTÉTICAS

De acordo com Borges (2017), devido a fragilidade dos materiais a base de cimento Portland, como o concreto e a argamassa, que mesmo apresentando características ideais para

à construção civil, como boa trabalhabilidade e boa resistência à compressão, estes apresentam também baixa resistência à tração e pouca deformabilidade, havendo assim a necessidade da adição de outros materiais para atuar como reforço.

Desde os tempos antigos, as fibras vêm sendo utilizadas para reforçar materiais frágeis, relata a história que antigos utilizavam palha para reforçar tijolos de barro e crina de cavalo para reforçar argamassa e gesso. Foi apenas a partir do ano de 1898 que as fibras de amianto passaram a ser utilizadas, em grande escala na matriz cimentícia, porém, devido aos danos causados por essas substâncias à saúde humana, novos tipos de fibras surgiram como alternativas nas décadas de 60 e 70, dentre elas as fibras de aço e de vidro (ACI 544.1R, 2002). Conforme Williamson (1996, apud ACI 544.1R, 2002), os primeiros relatos do uso das fibras sintéticas em materiais cimentícios, foi da inserção de fibras com comprimento entre 13 a 25 mm e uma proporção de 0,5% em volume, apresentando assim, um aumento de ductilidade e resistência ao impacto do material.

Segundo Bentur e Mindess (2005), a principal função das fibras adicionadas em matrizes cimentícias é de controlar o aparecimento e a propagação das fissuras, além de melhorar a ductilidade do material, ou seja, melhora sua capacidade de absorver energia. Além de proporcionar melhorias na resistência ao impacto, propriedades de fadiga e resistência à abrasão. De acordo com Hannant (2000), após a matriz frágil fissurar é possível observar o efeito de reforço que a pequena quantidade de fibras adicionada proporciona ao material, seja em níveis microscópicos ou a partir de rachaduras visíveis, devido à baixa deformação antes da ruptura da matriz de cimento, em comparação com as fibras como mostra a Figura 5.

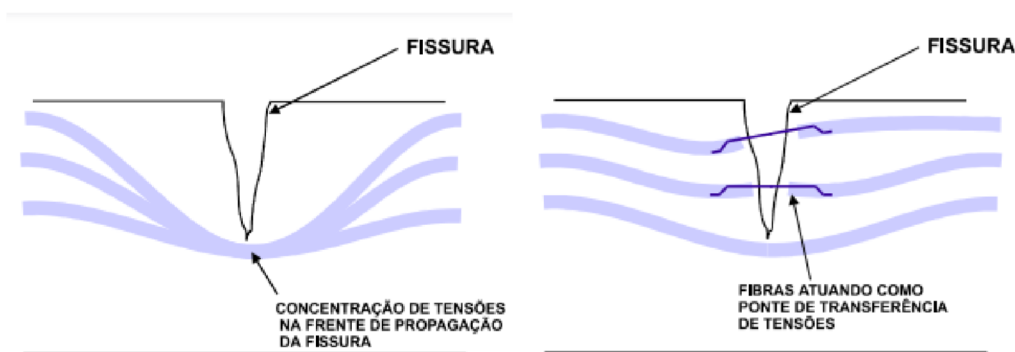


Figura 5 –Atuação das fibras como reforço
Fonte: Nunes, 2006.

2.3.1 Propriedades no estado fresco e endurecido

Segundo Borges (2017), as propriedades das fibras e da matriz determinam as propriedades do compósito, além do tipo, geometria, arranjo e distribuição, fração volumétrica, aspecto superficial, tratamento prévio, propriedades físicas, mecânicas e químicas das fibras, o grau de aderência entre as fibras e a matriz e o método de produção (mistura, adensamento e cura) do compósito. A seguir serão tratadas as principais propriedades da matriz cimentícia que são afetadas diretamente pela adição de fibras no traço da pasta de argamassa e do concreto.

2.3.1.1 *Trabalhabilidade*

Segundo Minari Júnior (2018), a trabalhabilidade é uma das propriedades das argamassas no estado fresco, relacionada a facilidade ou dificuldade de manuseio, transporte e aplicação das mesmas. Para Silva (2011), essa propriedade está relacionada principalmente à consistência. Em que, sua avaliação por meio de ensaios torna-se muito difícil, pois ela depende das características dos materiais constituintes, da habilidade do profissional que executa, além das propriedades do substrato e da técnica de aplicação.

De acordo com Figueiredo (2011), as adições de fibras ao compósito alteram as condições de consistência e mobilidade da mistura e, conseqüentemente, a sua trabalhabilidade. O tipo, o teor e a geometria das fibras empregadas estão entre as principais causas relacionadas a essas condições. Baloevic et al. (2018) constatou, uma diminuição na trabalhabilidade de argamassas quando adicionadas fibras de vidro, polipropileno e carbono, nas mesmas porcentagens, de 1,0 Kg de fibras por metro cúbico de argamassa. Assim como Baloevic et al, Peixoto et al. (2012), constatou uma ligeira tendência de redução da trabalhabilidade das argamassas aplicadas como revestimento cerâmico, à medida que aumentou a porcentagem e o comprimento das fibras, adicionando a estas 0%, 1%, 2%, 3% e 4% de fibras, com comprimentos de 2 cm e 4 cm, resultantes da indústria têxtil (30% de algodão e 70% de acrílico).

2.3.1.2 *Retração*

Segundo Bastos (2001, p.7), “a ocorrência de fenômenos patológicos em diversas partes das construções pode estar diretamente relacionada à retração dos compósitos à base de cimento”. Para Bentur e Mindess (2005), quando adicionadas fibras de baixo módulo de deformação em baixos teores, ou seja, menos de 0,3% em volume, estas ajudam a reduzir a quantidade de fissuras provenientes da retração plástica, sendo este um problema comum em argamassas de revestimento.

De acordo com o ACI 544.1R (2002), as fibras de poliéster vêm sendo utilizadas no compósito para controlar fissuras provenientes da retração plástica. Sendo adicionado um teor relativamente baixo, aproximadamente 0,10% em volume, porém este vem apresentando eficiência na diminuição da retração. Segundo Silva (2011), em sua pesquisa a respeito de argamassas reforçadas com fibras de polipropileno, o autor notou que ao adicionar 0,3% de fibras em relação a massa do cimento no traço de argamassa, estas apresentaram reduções significativas na retração por secagem e na retração livre com reduzida evaporação de água nas primeiras 24 horas, que segundo o autor, são fatores determinantes na redução da fissuração.

2.3.1.3 Resistência a compressão

De acordo com o comitê ACI 544.1R (2002) a resistência à compressão do compósito sofre pouca ou nenhuma influência com a adição de fibras. Em seu estudo com adição de fibras de polipropileno em argamassas, Silva (2006), comparou uma argamassa de referência (sem adição) com algumas argamassas com adições de 500g/m³, 1000g/m³, 1500g/m³ e 2500g/m³ de fibras de polipropileno, em relação ao volume da argamassa. Onde, todas as argamassas com fibras, apresentaram resistências inferiores a argamassa de referência, chegando a uma redução de 42%.

Já Silva Junior (2013), observou um aumento na resistência à tração, em argamassas reforçadas com fibras de poliéster, quando comparada com argamassa padrão (sem adições) e argamassa reforçada com fibras de vidro, adicionadas nas mesmas porcentagens, de 0,25% em volume de argamassa. O aumento observado foi de 13,4% em relação a argamassa padrão e de 60% em relação a argamassa com fibras de vidro.

No estudo feito por Baloevic et al. (2018), com a incorporação de fibras (vidro, polipropileno e carbono) em argamassa cimentícia, na qual foram adicionadas 1,0 Kg por metro cúbico de argamassa, foi observado que, as resistências a compressão das argamassas reforçadas com fibras, foram menores que as sem fibras. Porém, ainda que essas argamassas não sejam indicadas para aplicações práticas, as mesmas, apresentam um comportamento dúctil, garantindo uma distribuição mais favorável das forças internas na estrutura e um aumento de sua capacidade de carga. Sendo as argamassas com fibras mais indicadas, para controlar a abertura de fissuras causadas por tensões muitas vezes imprevisíveis de encolhimento e mudanças de temperatura.

2.3.1.4 Dureza superficial

Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2013), a dureza superficial é a propriedade do concreto medida através do método de ensaio não destrutivo, de esclerometria utilizando um esclerômetro de reflexão, apresentado na Figura 6. Em que as principais aplicações desse ensaio são: I) A verificação da uniformidade do concreto em obra; II) Avaliação das alterações das características do concreto causados pela hidratação do cimento; III) Estimativa da resistência à compressão do concreto com a correlação entre os valores dos índices esclerométricos médios superficiais e os valores de resistência a compressão do concreto, estes correlacionados através de uma constante elástica e gráfico disponibilizado pelo fabricante junto ao aparelho.

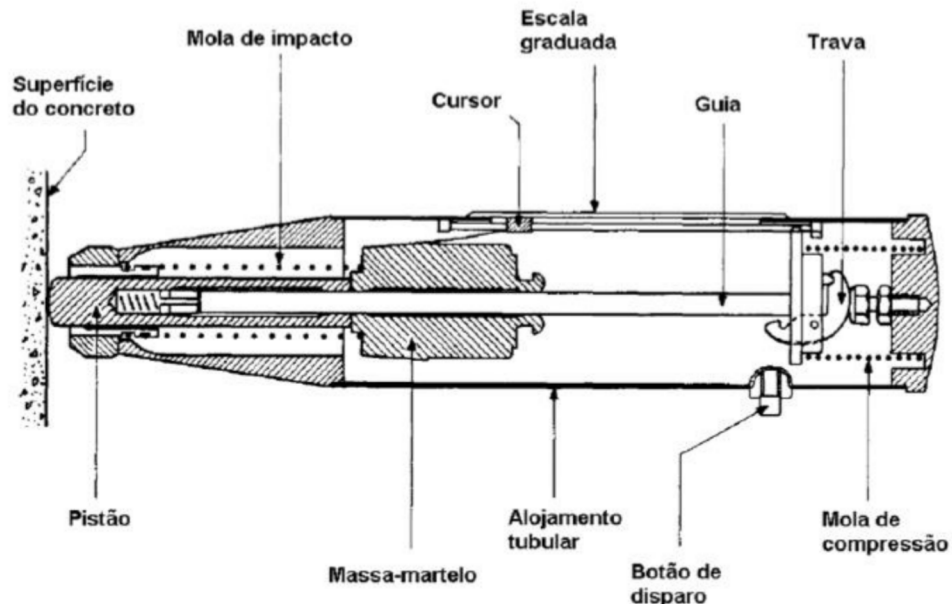


Figura 6 –Esclerômetro de reflexão Schmidt

Fonte: Figueiredo, 2018.

Golfetto, et al. (2019), em sua pesquisa sobre a influência da adição de microfibras de polipropileno e da cura na dureza superficial de pisos de concreto, não conseguiram constatar nenhum efeito sobre a dureza superficial em relação a nenhuma das variáveis de controle, com a variação na porcentagem de fibras de 0 g/m³, 600 g/m³ e 900 g/m³ e diferentes condições de cura (sem cura, cura úmida e cura úmida após três dias de exposição ao ambiente) nos concretos empregados em pisos. Associando tal resultado, ao fato de que o ensaio de esclerometria avalia o concreto apenas a uma profundidade de aproximadamente 3 mm. E que segundo Mehta e Monteiro (2011, apud Golfetto, et al., 2019), durante a realização do ensaio, o êmbolo pode impactar sobre o agregado gerando interferência nos resultados, devido ao agregado apresentar dureza superior a dureza da argamassa.

Já Silva et al (2017), observou em sua pesquisa com substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de Polietileno Tereftalato (PET), que a resistência superficial do concreto é influenciada pela adição do agregado. Onde, quanto maior a porcentagem de substituição, menor a resistência do concreto e consequentemente menor sua dureza superficial. De acordo com o autor, o traço rico com substituição de 30% e 45% em relação ao volume do agregado miúdo, apresentou dureza superficial menores aos 28 dias de 27 e 28 de índices esclerométricos, enquanto que os traços com 0% e 15%, ambos apresentaram dureza superficial de 28 e 33 de índices esclerométricos.

A partir dos resultados obtidos por Silva et al (2017), ao que parece, existe um limite quanto a inserção de fibras no traço de concreto, e quando este é atingido, as melhorias na dureza superficial do concreto não são mais evidentes.

2.3.1.5 Resistência ao impacto

De acordo com Quinino (2015), a resistência ao impacto é a energia consumida no rompimento de um corpo de prova padrão, onde são identificados a quantidade de golpes necessários para alcançar um nível e tamanho pré-definido de dano à estrutura. Para Plizzari e Mindess (2019), as adições de fibras ao concreto podem diminuir o aparecimento e propagação de fissuras, elevando a resistência ao impacto, quanto a tenacidade do compósito em comparação com o concreto sem fibras.

Silva Junior (2013), observou em sua pesquisa, com argamassas reforçadas com fibras de poliéster e vidro com adições de 0,25% em volume de argamassa, que as argamassas com adições de fibras de poliéster apresentaram melhores resultados quando comparadas com as argamassas padrão (sem adições) e as argamassas com fibras de vidro, tanto no aparecimento das primeiras fissuras, como também no rompimento dos corpos de provas, onde as argamassas com adições de fibras de poliéster absorveram maior energia até a sua ruptura, com um valor de 46,3% superior a energia absorvida pela argamassa de referência e 17,1% pelas argamassas com adição de fibras de vidro.

2.3.2 Fibras de resíduos resultantes da indústria

Segundo Mendonça (2018), a construção civil é uma das atividades que mais impactam negativamente o meio ambiente, sendo responsável por uma grande parcela de consumo dos recursos naturais. Sabendo que esses recursos são finitos (limitados), surge a necessidade da reutilização de matérias já existentes, como substituição aos que são naturais, principalmente os de fontes não renováveis. Conforme Marangon (2004), ao se utilizar materiais reciclados na

construção civil, há uma diminuição na quantidade de resíduos urbanos, resíduos esses, que seriam depositados em qualquer lugar, aumentando assim, o custo de deposição e tratamento, além, de afetar o meio ambiente de forma agressiva e sem controle.

Um outro setor, responsável por impactar negativamente o meio ambiente e possuir um elevado consumo de recursos naturais, é o setor têxtil. Pois, de acordo com o Sistema Moda Italiana (2016), o setor têxtil faz parte das atividades de maior influência, a nível global, do ponto de vista ambiental, tanto nos processos de abastecimento da cadeia produtiva como também, em relação aos resíduos pré e pós-consumo. Sendo, o setor responsável por cerca de 3,4 milhões de toneladas de emissões globais de gases de efeito estufa por ano, além de consumir em média 7,5 milhões de litros de água e utilizar 6 milhões de toneladas de produtos químicos, nos processos de tingimento, estamparia e acabamento.

De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confeção (2013), o Brasil tem o quarto maior parque produtivo de confecção do mundo e é quinto maior produtor têxtil. Sendo assim, conforme Menegucci et al. (2015), este setor, apresenta-se como grande gerador de resíduos sólidos. Nos quais segundo Pinto (2013), os resíduos gerados pela indústria têxtil podem ser, pedaços de tecidos ou de fios têxteis e em ambos os casos, podem ser encontrados em diferentes tamanhos e composições (por exemplo, algodão, lã, acrílico, seda, linho entre outros materiais e misturas possíveis).

Sendo assim, alguns autores têm estudado, formas e soluções para o reaproveitamento de resíduos sólidos industriais (fibras e retalhos de tecidos) na construção civil, como: Peixoto et al. (2012), Briga-Sá et al. (2013) e Pinheiro et al. (2018), garantindo a sustentabilidade do meio ambiente.

Peixoto et al. (2012), investigou em sua pesquisa, uma solução construtiva alternativa de reforço de argamassa para reboco, utilizando fibras de resíduos resultantes da indústria têxtil (30% de algodão e 70% de acrílico), em que, foram adicionadas porcentagens de 0%, 1%, 2%, 3% e 4% de fibras, com 2 cm e 4 cm de comprimento. Constatando aumento na resistência à compressão e à flexão do material à medida que as porcentagens de fibras foram aumentando. Sendo então, uma proposta interessante do ponto de vista econômico e sustentável.

Briga-Sá et al. (2013), avaliou a capacidade térmica da argamassa reforçada com resíduo de tecido (WFW) e sub resíduos do tecido (WFS) onde, ambos os materiais são 100% acrílicos, para revestimento de parede. Obtendo um aumento em seu comportamento térmico em 56% e 30% para argamassas contendo WFW e WFS, respectivamente.

Pinheiro et al. (2018), em sua pesquisa, estudou as propriedades mecânicas das argamassas reforçadas com fibras de poliéster provenientes de retalhos de tecidos, adicionadas

nas porcentagens de 0,0104%, 0,0188% e 0,027% em relação ao volume da argamassa. E a partir dos ensaios e procedimentos experimentais, constatou que não houve alteração na trabalhabilidade das argamassas, porém notou uma diminuição na resistência a tração na flexão e na resistência a compressão axial, exceto, nas argamassas com 0,0188% de fibras. Os resultados de Pinheiro et al. (2018) mostram que os beneficiamentos das propriedades mecânicas das argamassas são muito sensíveis ao percentual de fibras adicionadas em termos de volume de argamassa.

2.3.3 Fibras sintéticas

Segundo Romero et al. (1995), as fibras sintéticas são produzidas a partir de resinas derivadas do petróleo e fazem parte das fibras químicas, assim como as artificiais, sendo elas o acrílico, o náilon, o poliéster, o polipropileno, além de uma outra classe de fibras de características bem peculiares, os elastanos (Lycras). Estes surgiram após a segunda guerra mundial e ganharam força no mercado, chegando a deslocar gradativamente as fibras artificiais anteriormente mais utilizadas no setor têxtil.

Conforme Zheng e Feldman (1995), as propriedades das fibras sintéticas variam amplamente, com relação ao módulo de elasticidade, sendo esta uma característica muito importante na produção de compósitos. A Tabela 2, apresenta um resumo das propriedades físicas das principais fibras sintéticas.

Tipo de fibras	Peso específico g/cm³	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento máximo (%)
Acrílica	1,17	207 - 1000	14,6 - 19,6	7,5 - 50,0
Aramida I	1,44	3620	62	4,4
Aramida II	1,44	3620	117	2,5
Náilon	1,16	9'65	5,17	20
Poliéster	1,34 - 1,39	896 - 1100	17,5	-
Polietileno	0,96	200 - 300	5	3
Polipropileno	0,90 - 0,91	310 - 760	3,5 - 4,9	15

Tabela 2 – Propriedades físicas das fibras poliméricas

Fonte: Adaptado de Zheng e Feldman, 1995.

A seguir será descrito as propriedades físico-químicas das fibras sintéticas empregadas no setor têxtil: fibra de poliéster e elastano.

2.3.3.1 Fibras de poliéster

Segundo Dopko (2018) as fibras de poliéster podem ser da categoria tereftalato de polietileno (PET), ou tereftalato de poli-1, 4-ciclo-hexileno-dimetileno (PCDT), cada uma com propriedades químicas diferentes. O PET geralmente apresenta maior resistência e rigidez do que o PCDT, normalmente mais dúctil e mais resistente. A depender da técnica de fabricação utilizada, o PET pode apresentar propriedades químicas e mecânicas distintas. Por ser um material termicamente sensível, o PET pode se decompor quando submetido a altas temperaturas (acima de 280°C). De acordo com Zheng e Feldom (1995), “o PET é um poliéster termoplástico feito por policondensação de etilenoglicol com ácido tereftálico ou tereftalato de dimetila”, Figura 7.

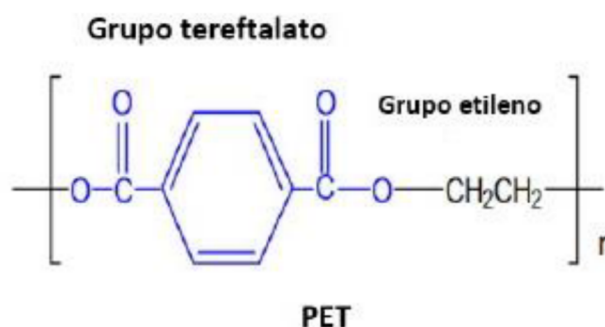


Figura 7 – Cadeia manométrica do poliéster

Fonte: Adaptado de Lima, 2020.

Para Romero et al. (1995), as fibras de poliéster apresentam uma elevada resistência a umidade e aos agentes químicos (ácidos e álcalis), além de possuir uma grande resistência à tração. Na indústria têxtil ela pode ser utilizada pura ou misturada com algodão, viscose, náilon, linho ou lã, em proporções variadas.

2.3.3.2 Fibras de elastano

De acordo com Lopes (2009), “o elastano é um copolímero linear em bloco, formado por longos seguimentos flexíveis de um poliglicol e pequenas cadeias rígidas de diisocianato, contendo cerca de 85% de poliuretano em sua estrutura”, vide Figura 8. Ainda segundo a autora o elastano é um material elastomérico que normalmente é utilizado, misturando-o com outras fibras, naturais ou sintéticas para fabricação de tecidos.

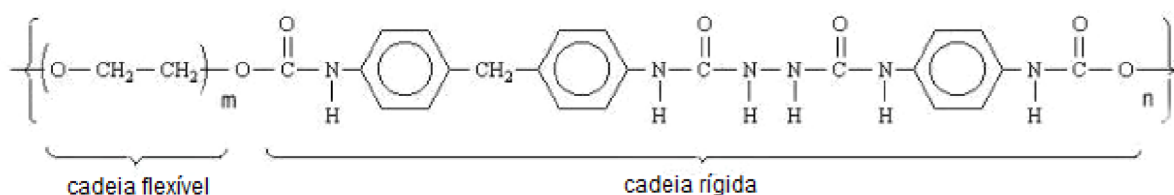


Figura 8 – Cadeia manométrica do elastano

Fonte: Lopes, 2009.

Segundo Romero et al. (1995), as fibras de elastano, tem como função principal conferir elasticidade aos tecidos convencionais (de malha ou planos), podendo atingir até cinco vezes seu tamanho normal sem se romper. Sua utilização se faz sempre em combinação com outras fibras convencionais, em proporções que variam entre 5% e 20%.

De acordo com Kuasne (2008), a combinação do elastano com outras fibras irá conferir elasticidade a qualquer tecido, sendo a direção e a quantidade a depender da porcentagem de elastano e a forma como ele foi empregado, que pode ser a partir de diferentes técnicas de recobrimento, como: simples e duplo recobrimento, fiação com alma elastano e entrelaçamento, Figura 9.

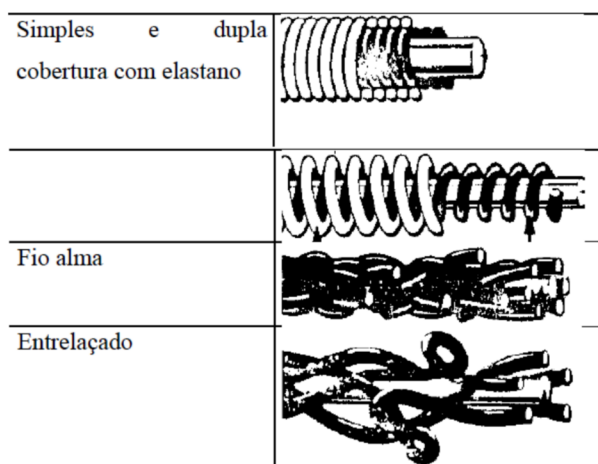


Figura 9 – Técnica de recobrimento

Fonte: Kuasne (2008).

2.4 DURABILIDADE DA FIBRA A BASE DE POLIÉSTER EMPREGADA EM ARGAMASSA CIMENTÍCIA

Para Betioli (2003) as fibras empregadas como reforço em argamassa e concretos devem apresentar boa compatibilidade física e química com o meio úmido e alcalino da matriz cimentícia. Pois algumas fibras são atacadas pelos álcalis presentes na pasta de cimento. Segundo o comitê ACI-544 1R (2002), a durabilidade e a compatibilidade química das fibras

utilizadas como reforço em materiais cimentícios, devem ser determinadas individualmente. Sendo o acrílico, a aramida, o carbono, o nylon, o poliéster, o polietileno e o polipropileno as fibras sintéticas mais indicadas para reforço em argamassas e concreto de cimento Portland.

De acordo com Rostami et al. (2020), o uso de fibras como reforço em matrizes cimentícias vem sendo estudado por muitos pesquisadores ao longo dos anos, e sabe-se que os materiais à base de cimento, como o concreto e argamassa, formam um ambiente altamente alcalino em seu interior e que algumas fibras sintéticas e artificiais estão sujeitas a degradação quando expostas a esses ambientes. Segundo Betioli (2003), para que as fibras desempenhem seu papel como reforço, estas devem ser duráveis no interior dos materiais a base de cimento, uma vez que estes são projetados para várias décadas em serviço.

2.4.1 Degradação das fibras sintéticas

Segundo Rostami et al. (2020), infelizmente as informações contidas nas literaturas, a respeito da durabilidade das fibras PET em matrizes cimentícias são insuficientes, inconsistentes e controversas. Para o comitê ACI 544 1R (2002), não há um consenso sobre a durabilidade a longo prazo das fibras de poliéster em matrizes cimentícias.

Por exemplo, Jakel (1975, apud, Wang, et al., 1987), defende que obteve sucesso no uso de fibras de poliéster para melhorar produtos de cimento Portland. Assim como, Silva Junior (2013), que observou um aumento na resistência à tração, em argamassas reforçadas com fibras de poliéster, quando comparadas com argamassas padrão (sem adições) e argamassas reforçadas com fibras de vidro.

Já Pelisser (2002), constatou em sua pesquisa, realizada em concreto com adição de baixos teores de fibras de polietileno tereftalato (PET), proveniente de fibras recicladas de garrafas plásticas, que houve a degradação das mesmas, observadas por meio de análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com idades de 150 dias e 360 dias, Figura 10.

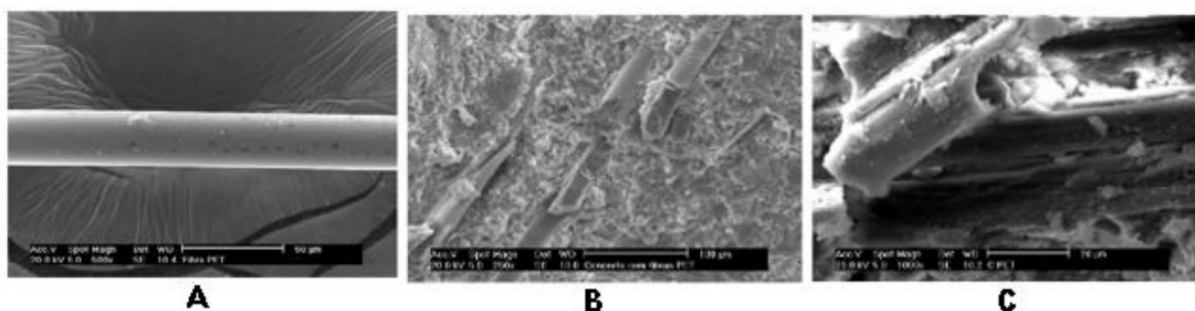


Figura 10 – Fibras PET visualizada por MEV: (A) natural; (B) após 150 dias e (C) após 360 dias

Fonte: Pelisser (2002).

Betioli e Silva (2005), também constatarem a degradação das PET (poli-etileno) reciclado de garrafa PET, quando expostas a soluções alcalinas e ácidas tal como soluções saturadas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ com (pH 12.3), $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, H_2SO_4 , 10 mol.L^{-1} e em solução de Lawrence, que simula a água dos poros dos materiais à base de cimento, contendo as seguintes concentrações: $0,48\text{g/L}$ de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + $3,45 \text{ g/L}$ de KOH + $0,88\text{g/L}$ de NaOH , em um período de cinco meses, por meio de espectroscopia no infravermelho e microscopia eletrônica de varredura. No qual só foi possível detectar mudanças nos aspectos de FTIR - Espectroscopia no Infravermelho, por Transformada de Fourier das fibras, quando estas foram expostas a 10 mol.L^{-1} , H_2SO_4 a uma temperatura de 50°C e confirmada a degradação através da imagem de microscopia eletrônica de varredura das fibras, Figura 11.

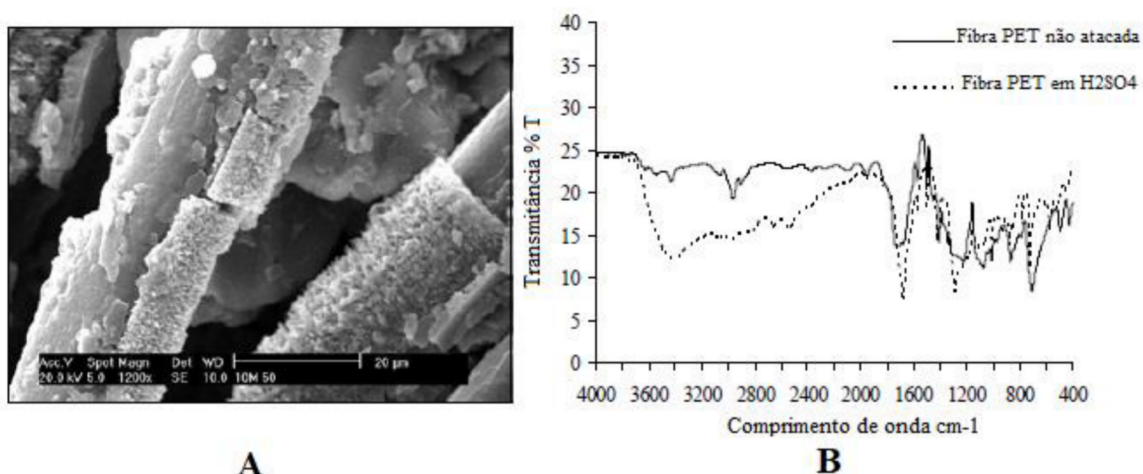


Figura 11 – (A) Imagem MEV e (B) espectro de FTIR de uma fibras PET exposta a uma solução de H_2SO_4 10 mol.L^{-1} a 50°C após 150 dias
Fonte: Betioli e Silva (2005).

Constatado também a degradação das mesmas, quando imersas em soluções saturadas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ e solução de Lawrence contendo as seguintes concentrações: $0,48\text{g/L}$ de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + $3,45 \text{ g/L}$ de KOH + $0,88\text{g/L}$ de NaOH , a 50°C , através de análises feitas por microscopia eletrônica de varredura. Observa-se algumas rugosidades na superfície das fibras, Figura 12. Além disso, foi observada a precipitação de algumas partículas no fundo dos vasos utilizados para imergir as fibras, estes precipitados foram analisados por espectroscopia no infravermelho e constatado a interações entre o PET e a soluções alcalinas, Figura 13.

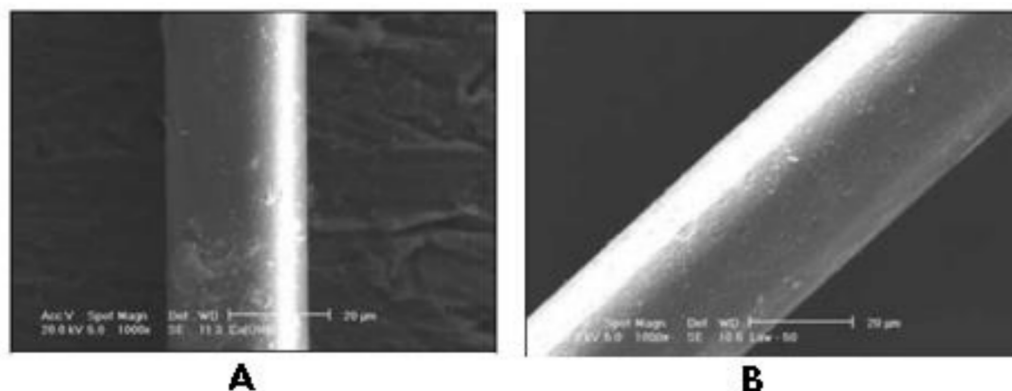


Figura 12 – Fibras PET analisadas por MEV: (A) imersa em solução de hidróxido de cálcio e (B) solução de Lawrence
Fonte: Betioli e Silva (2005).

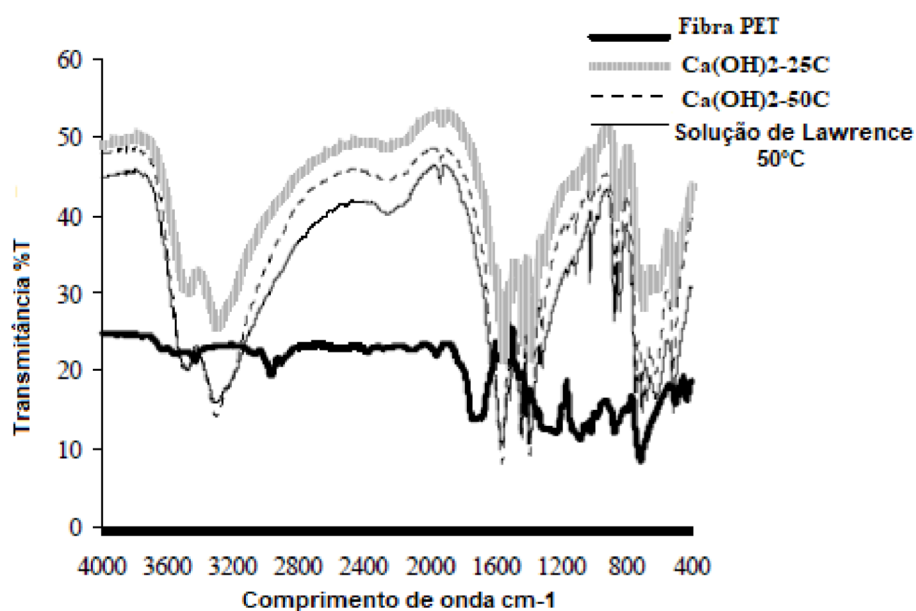


Figura 13 – Espectro de infravermelho de partículas precipitadas em solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (25 e 50 ° C) e em Solução Lawrence (50 ° C), após exposição das fibras PET por 150 dias
Fonte: Betioli e Silva (2005).

Já Marangon (2004), afirma não ter ocorrido processo de degradação nas fibras PET, provenientes da reciclagem de garrafas, quando incorporadas ao concreto, avaliado em um período de 180 dias. Em que diferentes teores de fibras foram aplicados em diferentes traços e a partir dos ensaios de caracterização das fibras, trabalhabilidade, resistência à compressão e resistência à tração, notou-se que houve um ganho de energia do material, obtendo assim características de material dúctil. Constatando dessa forma, não haver processo de degradação das fibras quando exposta a soluções alcalinas, como a matriz cimentícia do concreto, pois, em todas as amostras contendo fibras, houve um aumento de resistência e tenacidade, desde as primeiras idades até 180 dias.

Para Rostami et al. (2020), ainda existem muitas dúvidas quanto ao uso de fibras PET como reforço em matriz cimentícia, porém em seu estudo de revisão quanto as propriedades das fibras e avaliação sobre a aplicação dessas fibras no concreto, constatou que: I) Os compósitos cimentícios são ambientes altamente alcalinos, podendo conferir diferentes níveis de degradação às fibras, sendo recomendado e necessário a investigação de diversas fibras adicionadas a matriz cimentícia; II) As fibras PET, possuem resistência adequada em ambientes com alcalinidade baixa, ao contrário de quando expostas a ambientes altamente alcalinos, estando estas à temperatura ambiente.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos adotados para o estudo da argamassa reforçada com fibras provenientes de resíduo da confecção do jeans pela Indústria Têxtil Sergitex de Estância/SE. A seguir, serão descritos os métodos experimentais envolvidos nas seguintes etapas: I) Aquisição das fibras; II) Caracterização das fibras; III) Confecção do traço; IV) produção dos gabaritos dos corpos de prova, moldagem e processos de cura; e V) ensaios de dureza superficial e fissuramento. A metodologia utilizada para a realização deste trabalho, está descrita no fluxograma, Figura 14.

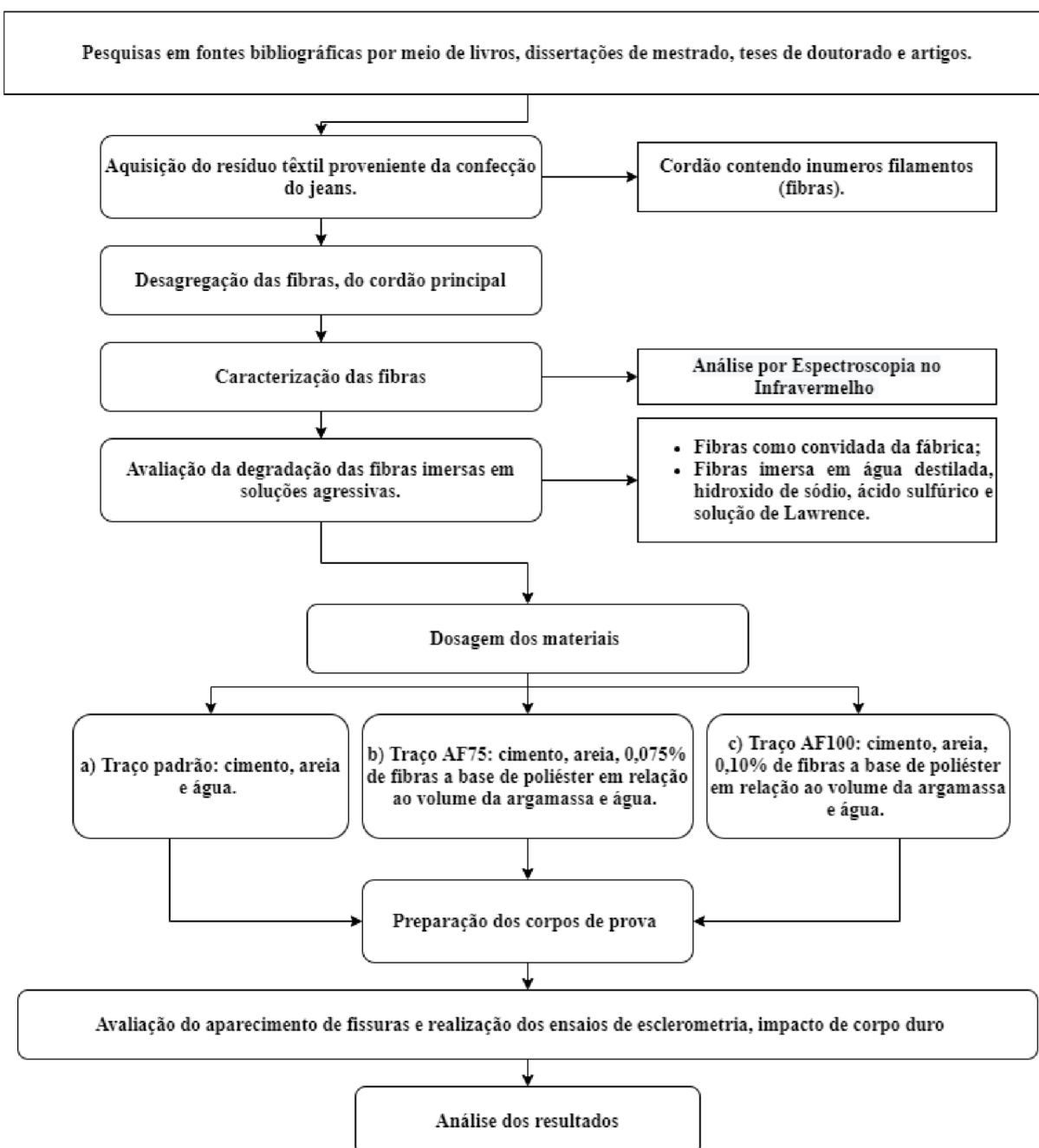


Figura 14 – Fluxograma do programa experimental
Fonte: Autor (2021).

3.1 AQUISIÇÃO DAS FIBRAS

As fibras utilizadas nesta pesquisa, foram fornecidas em forma de resíduo pela indústria têxtil Sergitex, situada no município de Estância/SE, a partir da parceria público privada, entre o grupo de pesquisa “Núcleo de Materiais Avançados Compósitos e Componentes para a Construção Civil” do Instituto Federal de Sergipe, Campus Estância e a Sergitex. Fibras estas, provenientes do processo de trefilagem com fiação de fibras artificiais e sintéticas, gerando resíduos em formas de rebarbas de fibras constituídas de 92% poliéster e 8% de elastano.

Para que fosse possível a utilização deste, como reforço em argamassa, se faz necessário um tratamento prévio, pois as sobras fornecidas pela Indústria têxtil, tratam-se de um resíduo e apresentam-se como um “cordão” com inúmeros filamentos, sendo necessário desagregar os pequenos filamentos, Figura 15.

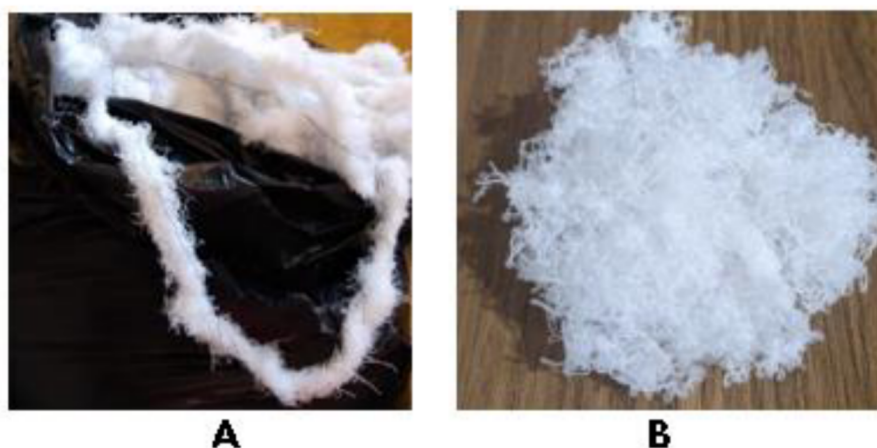


Figura 15 – Fibras a base de poliéster: (A) como recebida da fábrica e (B) desagregada em laboratório
Fonte: Autor (2021).

3.2 CARACTERIZAÇÃO E ENSAIO DE DEGRADAÇÃO DAS FIBRAS

Foi realizada a caracterização físico-química das fibras por Espectroscopia no Infravermelho, em amostras de fibras in natura e submetidas a soluções alcalinas e ácidas, que simulam o meio eletrolítico da matriz cimentícia.

3.2.1 Soluções para degradação das fibras

A fim de avaliar a durabilidade das fibras a base de poliéster, as mesmas foram expostas por 4 (quatro) e 8 (oito) meses a soluções agressivas (básica, ácida e solução de Lawrence) que simulam o ambiente químico da matriz cimentícia. As proporções molares das soluções estão

descritas na Tabela 3. Com base no trabalho de Betiole e Silva (2005), seguindo a mesma concentração molar.

Soluções	Concentração
Hidróxido de sódio (NaOH)	0,1 mol.L ⁻¹
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	10 mol.L ⁻¹
Solução de Lawrence (Hidróxido de cálcio + Hidróxido de potássio + Hidróxido de sódio),	0,48 g/L de Ca(OH) ₂ + 3,45 g/L de KOH + 0,88 g/L de NaOH
Água destilada	Controle

Tabela 3 – Soluções agressivas que simulam o ambiente químico da matriz cimentícia

Fonte: Autor (2021).

Segundo Betiole e Silva (2005), algumas fibras de poliéster quando em contato com o meio úmido e alcalino da matriz cimentícia, podem ser atacadas tanto por água quanto por álcalis presentes na pasta de cimento. Assim sendo, as fibras foram avaliadas quanto a degradação a partir da imersão destas em soluções agressivas, simulando o ambiente químico da matriz cimentícia.

A solução básica de hidróxido de sódio (NaOH, 0,1 mol.L⁻¹), foi escolhida por ser uma base forte, pois de acordo com Betiole (2003) esta, simula um ambiente altamente agressivo a certos tipos de fibras. A solução de Lawrence (0,48 g/L de Ca(OH)₂ + 3,45 g/L de KOH + 0,88 g/L de NaOH), também utilizada por Betiole (2003) em sua pesquisa, para avaliar a degradação das fibras PET em soluções agressivas, segundo o autor, simula a água encontrada no interior dos materiais cimentícios. Já a solução de ácido sulfúrico (H₂ SO₄, 10 mol.L⁻¹), foi escolhida para avaliar a fibras a base de poliéster em um ambiente altamente agressivo, simulando a exposição da argamassa a chuvas ácidas, como também o contato com substâncias ácidas, como construções agrícolas, tubos para passagem de esgoto, águas subterrâneas, pisos de indústrias químicas, entre outros.

Previamente à imersão nas referidas soluções, as fibras a base de poliéster foram pesadas e lavadas com água destilada e, após isso, foram então mantidas em estufa a 50°C, durante 24 horas, com intuito de remover quaisquer impurezas. Após o preparo, as soluções foram distribuídas em 10 (dez) recipientes com 250 ml das referidas soluções, nos quais foram adicionadas 0,5 g de fibras a base de poliéster, como descrito no Quadro 2.

Amostras			
Água destilada	Soluções ácida, básica e salinas		
	(NaOH)	(H ₂ SO ₄)	Solução de Lawrence
Controle	0,1 mol.L ⁻¹	10 mol.L ⁻¹	0,48 g/L de Ca(OH) ₂ + 3,45 g/L de KOH + 0,88 g/L de NaOH
2 amostra	2 amostras	2 amostras	2 amostras

Quadro 2 – Amostras para o ensaio de degradação
Fonte: Autor (2021).

Os recipientes contendo as fibras foram vedados e mantidos em temperatura ambiente em uma caixa de isopor com tampa. Onde permaneceram imersas durante um período de 4 e 8 meses.

3.2.2 Espectroscopia no Infravermelho

Foi realizada a caracterização físico-química das fibras por Espectroscopia no Infravermelho, por Transformada de Fourier (FTIR). Para tais análises, foi empregado um equipamento espectrômetro de infravermelho Spectrum Two, da marca Perkin Elmer. As medidas foram realizadas no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. O uso da espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) teve como objetivo identificar os grupos funcionais das fibras à base de poliéster na região do infravermelho médio (4000 cm⁻¹ a 500 cm⁻¹) bem como avaliar a possível degradação e deformação das cadeias manométricas das fibras pelas soluções propostas. Para realização das medidas, foram produzidas amostras em pastilha de KBr. Sendo que inicialmente as fibras foram misturadas com 80-100mg de KBr, e a mistura compactada a vácuo, formando pastilhas transparentes.

Após obter os espectros de transmitância, a identificação das bandas referentes as fibras sintéticas têxteis de poliéster e elastano foi feita com base nos padrões disponibilizados pelo Institute of Chemistry University of Tartu, Estônia na referência Peets et al. (2017).

3.3 PREPARAÇÃO DO TRAÇO

Nesta pesquisa adotou-se a utilização das porcentagens de 0,075% e 0,10% de fibras a base de poliéster, como reforço em traço de argamassa cimentícia de 1:6:0,5 (cimento, areia e água), de acordo com pesquisas realizadas anteriormente pelo grupo de pesquisas NUMAC – IFS e tomando como referência o trabalho de Santana (2021), onde foi demonstrado que as proporções inferiores e iguais a 0,10% de fibras a base de poliéster em termos de volume de

corpo de prova cilíndrico, não afetam negativamente a resistência mecânica em produtos cimentícios aos 28 dias de cura.

Sendo assim, a fim analisar a influência das fibras a base de poliéster nas propriedades mecânicas e físicas das argamassas, foram formulados três traços: traço padrão; traço AF75, com adição de 0,075% de fibras; e o traço AF100, com 0,10% de fibras. Ambas as porcentagens de fibras, calculadas em termos de volume de corpo de prova, Tabela 4.

Traço para um corpo de prova medindo 0,40 m (largura) x 0,40 m (comprimento) x 0,03 m (espessura)					
Descrição	Cimento (Kg)	Areia (kg)	Água (l)	Fibra (g)	
Padrão	1,608	9,647	0,804	%	g
AF75	1,608	9,647	0,804	0,075%	9,04
AF100	1,608	9,647	0,804	0,10%	12,06

Tabela 4 – Traço: argamassa com adição de 0,075% de fibras (AF75) e argamassa com adição de 0,10% de fibras (AF100)

Fonte: Autor (2021).

3.3.1 Mistura do traço

Durante a realização do ensaio de absorção de água, com fibras a base de poliéster, a uma temperatura média de 25°C e sob pressão atmosférica, Santana (2021), observou pouca variação na absorção de água durante o período de 8 a 20 horas, ao qual as fibras ficaram submersas, e após esse período as fibras passam a absorver água com mais intensidade. Assim sendo, antes de adicionar as fibras a base de poliéster à mistura, estas precisam ser hidratadas por um período mínimo de 8 horas e máximo de 20 horas, Figura 16. Além de subtrair a quantidade de água absorvida pelas fibras, do valor da água de amassamento do traço, evitando assim, que esta venha influenciar negativamente na relação água cimento a/c do traço de argamassa.



Figura 16 – Fibras a base de poliéster pré-saturadas

Fonte: Autor (2021).

Um outro ponto que deve ser levado em consideração, na produção das argamassas reforçadas com fibras, é a disposição destas na mistura, pois esse processo não é normatizado, ficando a cargo da experiência do profissional responsável por tal função. Sendo assim, os materiais (cimento, areia, fibra e água) foram dispostos na mistura de acordo, como exposto na Figura 17.

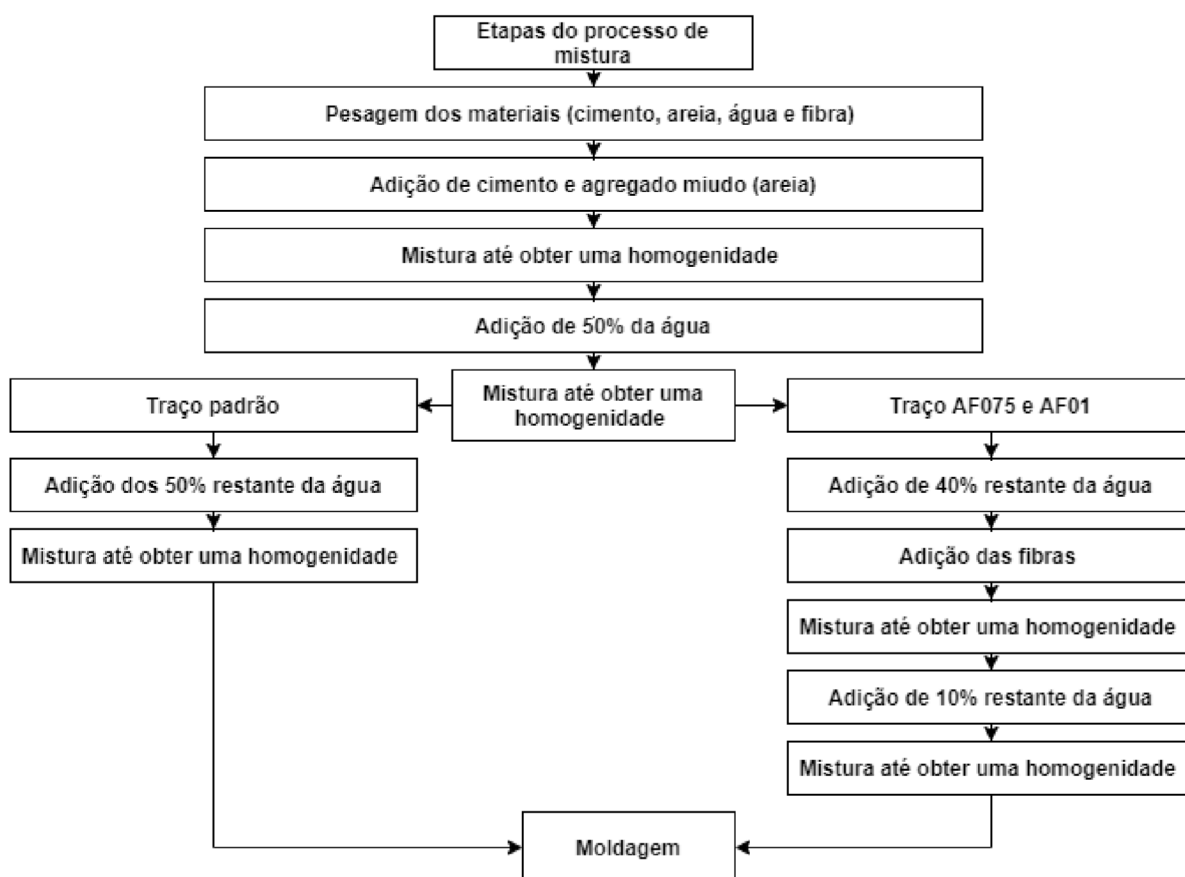


Figura 17 – Procedimento adotado para mistura das argamassas
Fonte: Autor (2021).

A disposição das fibras à base de poliéster foi realizada de forma segmentada, a fim de que as fibras fossem totalmente envolvidas na pasta, sem afetar a trabalhabilidade da mesma, Figura 18.



Figura 18 – Adição das fibras a base de poliéster na argamassa

Fonte: Autor (2021).

3.4 PRODUÇÃO DOS GABARITOS DOS CORPOS DE PROVA

A fim de analisar a capacidade das fibras à base de poliéster em dirimir ou diminuir, o estado de abertura e propagação de fissuras em argamassas cimentícias. Inicialmente as argamassas com e sem adição de fibras foram avaliadas quanto ao aparecimento de fissuras devido a retração plástica e movimentações higrotérmicas, e após 28 dias foram analisados os benefícios da incorporação das fibras nas propriedades mecânicas das argamassas, por meio do ensaio de esclerometria e impacto de corpo duro.

Para as análises, quanto a fissuração por retração plástica e movimentações higrotérmicas, foram confeccionadas 2 (duas) placas medindo 1,20 m (comprimento) x 1,00 m (largura) x 0,03 m (espessura), para cada traço, padrão, AF75 e AF100 e 1 (uma) placa unificada medindo 2,40 m (comprimento) x 0,80 m (largura) x 0,03 m (espessura), para os traços padrão, AF75 e AF100. Já para as análises quanto a resistência mecânica das argamassas com e sem adições de fibras, por meio do ensaio de esclerometria e impacto de corpo duro, foram confeccionadas 8 (oito) placas medindo 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 0,03 m (espessura), para cada traço, padrão, AF75 e AF100

Sendo necessário a fabricação de gabaritos de madeira para a confecção e moldagem das placas, nos quais estas foram postas em cima de uma lona plástica e solo compactado, em local aberto, permitindo a exposição ao sol, durante todo o dia, Figura 19.



Figura 19 – Fôrmas de madeira
Fonte: Autor (2021).

3.5 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

As placas de argamassa confeccionadas com traço padrão, AF75 e AF100, foram produzidas adaptando o processo de execução de camada de contrapisos, do manual de argamassas para revestimento Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2002). Para tal, as fôrmas de madeira foram colocadas sobre uma lona plástica e solo compactado, sendo umedecida com água para que o substrato não absorvesse a água de amassamento na hora da aplicação.

Posteriormente as fôrmas foram preenchidas com a mistura e realizada a compactação das mesmas com soquete de madeira, em seguida foi realizado o processo de sarrafeamento em toda a superfície, empregando para isso uma régua metálica. Após 2 horas a superfície recebeu o acabamento desempenado, que em função da umidade de aplicação e do tempo decorrido entre a sua aplicação e o desempenho, houve a necessidade de borrifar água sobre a superfície para facilitar a operação do desempeno resultando assim em uma superfície áspera.

Com o intuito de avaliar o surgimento de fissuras provenientes da retração plástica e movimentações higrotérmicas nas primeiras horas, nos traços de argamassa reforçado com fibras a base de poliéster, foram confeccionadas das 2 (duas) placas medindo 1,20 m (comprimento) x 1,00 m (largura) x 0,03 m (espessura), para cada traço (padrão, AF75 e AF100), também foi moldada 1 (uma) placa unificada medindo 2,40 m (comprimento) x 0,80 m (largura) x 0,03 m (espessura), para os traços padrão, AF75 e AF100, Figura 20.



Figura 20 – Confeção dos corpos de prova para análise quanto ao aparecimento de fissuras

Fonte: Autor (2021).

Após a moldagem dos corpos de prova com traços padrão, AF75 e AF100, estes foram avaliados quanto ao aparecimento de fissuras nas primeiras 4, 6, 8 e 12 horas, devido a retração plástica e após 3, 7 e 14 dias do período de cura, devido a movimentação higrotérmicas. Para tal, as placas foram analisadas de forma qualitativa utilizando-se de lupa de escala iluminada, Figura 21.



Figura 21 – Lupa de escala iluminada

Fonte: Autor (2021).

Já para os ensaios de esclerometria e impacto de corpo duro, foram confeccionadas 8 (oito) placas de argamassa, medindo 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 0,03 m (espessura), para os traços padrão, AF75 e AF100, Figura 22.



Figura 22 – Confeção dos corpos de prova para os ensaios de esclerometria e corpo duro

Fonte: Autor (2021).

3.6 PROCESSO DE CURA

Após 24 horas do processo de moldagem, as placas de argamassa medindo 1,20 m (comprimento) x 1,0 m (largura) x 0,03 m (espessura), foram desmoldadas, passando a partir daí por um processo de cura (seco/úmido), onde os corpos de prova foram molhados nos primeiros 7 dias, de 2 em 2 horas e a partir do oitavo dia, de 6 em 6 horas, até completar 28 dias (período de cura). Enquanto que a placa unificada de argamassa medindo 2,40 m (comprimento) x 0,80 m (largura) x 0,03 m (espessura) confeccionadas sem juntas de dilatação não foram submetidas a nenhum processo de cura, proporcionando assim uma avaliação do aparecimento de fissuras, tanto em placas curadas e não curadas.

Já as placas de argamassa, confeccionadas para a realização do ensaio de esclerometria e impacto de corpo duro aos 28 dias, Figura 23, passou pelo mesmo processo de cura que as placas de 1,20 m (comprimento) x 1,0 m (largura) x 0,03 m (espessura) confeccionadas para avaliar o aparecimento de fissuras.

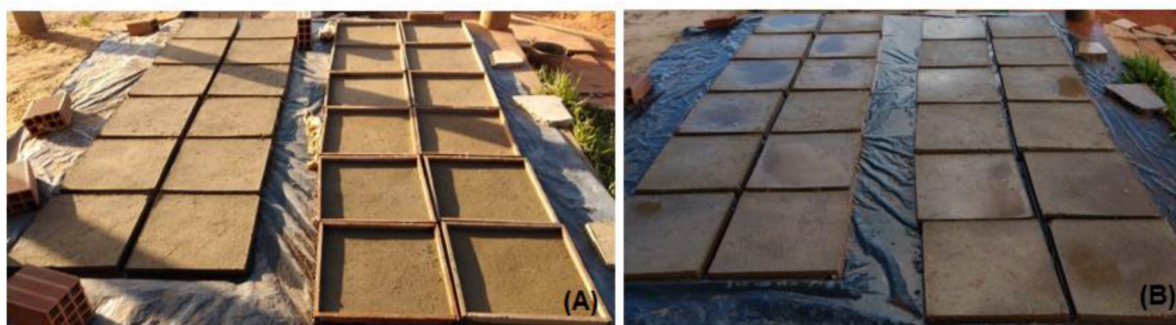


Figura 23 – Processo de desforma e cura das placas (A) desforma (B) Cura

Fonte: Autor (2021).

3.7 PROPRIEDADES AVALIADAS

As argamassas reforçadas com fibras à base de poliéster (AF75 e AF100) e a argamassa de referência (Padrão), foram avaliadas em seu estado fresco, quanto ao aparecimento de fissuras nas primeiras horas, devido a retração plástica, como também em seu estado endurecido quanto ao aparecimento de fissuras devido a movimentações higrotérmicas nas primeiras idades, dureza superficial e impacto de corpo duro.

3.7.1 Dureza superficial

Com objetivo de avaliar a dureza superficial nas placas de argamassa de 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 0,03 m (espessura), com e sem adições de fibras, foi adaptado o ensaio de esclerometria descrito na NBR 7584 (ABNT, 2013) - Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Sendo este, um método não destrutivo, que permite avaliar não só a dureza superficial do concreto, como também estimar a resistência à compressão, a partir do gráfico fornecido pelo fabricante junto ao aparelho, correlacionando a resistência à compressão em corpos de prova com os índices esclerométricos.

O esclerômetro utilizado nos ensaios foi o esclerômetro de reflexão tipo Schmidt com 2,25 Nm de energia de percussão, com ábaco de estimativa de resistência à compressão para corpos de prova cúbicos, produzido na Itália pela fabricante Tecnotest, Figura 24.



Figura 24 – Esclerômetro utilizado no ensaio

Fonte: Autor (2021).

A execução dos ensaios de esclerometria foram realizados após 28 dias de cura dos corpos de prova. E para tal, foram produzidos gabaritos, demarcando onde seriam efetuados os 21 impactos por corpo de prova, respeitando 5 cm de distância das extremidades e 4 cm entre os pontos de impactos, Figura 25.



Figura 25 – Gabarito usado no ensaio de esclerometria
Fonte: Autor (2021).

De acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2013) estruturas com menos de 100 mm de espessura devem ter a outra face apoiada ortogonalmente em relação ao impacto. Para a realização dos ensaios as placas foram apoiadas e niveladas sobre um contrapiso de concreto, Figura 26. E realizado o ensaio com o esclerômetro posicionado na vertical voltado para baixo, sempre ortogonalmente à superfície ensaiada, Figura 27.



Figura 26 – Corpo de prova apoiado e pronto para o ensaio de esclerometria
Fonte: Autor (2021).



Figura 27 – Área e posição do ensaio
Fonte: Autor (2021).

Após a coleta de cada Índice Esclerométrico (IE) de cada corpo de prova, foi realizada uma média aritmética entre os 21 resultados e posteriormente efetuado o desvio padrão, eliminando os 5 resultados mais distantes. Novamente foi realizada uma média aritmética entre os 16 resultados, obtendo assim o Índice Esclerométrico médio do corpo de prova ($IE_{m,cp}$).

Conforme indicação da norma, foram descartados os IE que estavam 10% acima e abaixo do $IE_{m,cp}$. Após esse descarte, caso resultassem menos de cinco IE, das 16 medidas dentro deste intervalo, o corpo de prova deve ser descartado devido à grande heterogeneidade dos resultados. Após a exclusão dos IE fora do intervalo de $\pm 10\%$ do $IE_{m,cp}$, existindo mais de cinco valores dentro desse intervalo, é realizada uma nova média aritmética, denominado Índice Esclerométrico médio final do corpo de prova ($IE_{mf,cp}$).

Com esse Índice Esclerométrico médio final ($IE_{mf,cp}$) foi possível determinar, adotando-se o coeficiente de correlação do índice esclerométrico $k=1$, a resistência mecânica das amostras. O procedimento é realizado por meio de uma consulta ao ábaco disponibilizado no manual de uso e operação do aparelho, vide Figura 28, através da análise do ponto de intersecção do perfil da curva correspondente à posição B com o índice esclerométrico médio final dos ensaios.

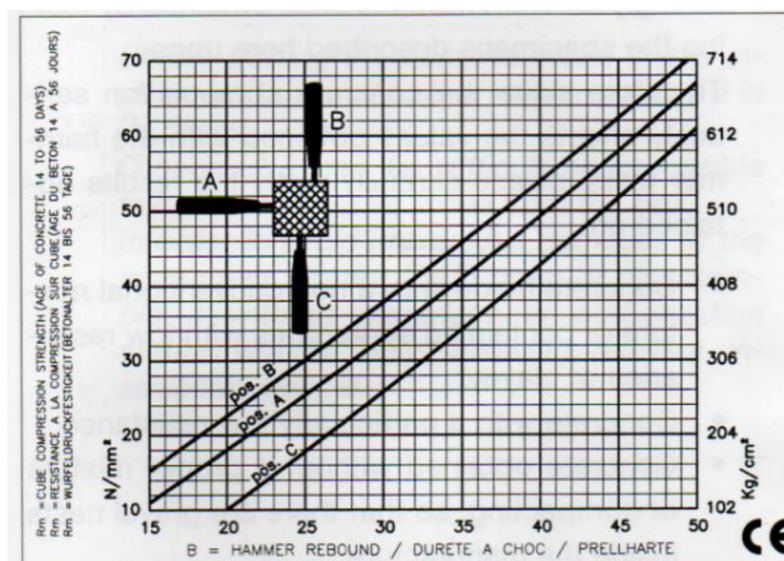


Figura 28 – Gráfico do manual de uso e operação do aparelho de correlação entre o índice esclerométrico médio e a resistência

Fonte: Autor (2021).

3.7.2 Resistência a impacto de corpo duro

Com o intuito de determinar a resistência mecânica das placas de argamassa de 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 0,03 m (espessura), com e sem adições de fibras, a impactos originários da utilização do sistema, foi adaptado o ensaio de impacto de corpo duro da NBR 15805 (ABNT, 2015) - Pisos elevados de placas de concreto – Requisitos e procedimentos.

Para a avaliação de desempenho ao impacto de corpo duro das placas de concreto, a norma prescreve o valor de 50 J como resistência mínima da placa ao traspassamento, ruína ou perda de estabilidade do sistema e 30 J como resistência mínima da placa, a fim de que não lhe ocorram danos acentuados.

No entanto, para a realização do referido ensaio em placas de argamassa, foram utilizadas energias de impactos de 10,56 J, como resistência mínima da placa ao traspassamento, ruína ou perda de estabilidade do sistema e 6,72 J como resistência mínima da placa, a fim de que não lhe ocorra danos acentuados, calculados de acordo com a Equação 1.

$$E = m * g * h \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

E = energia de impacto

m = massa do identor (corpo duro) de 0,960 Kg com diâmetro de 5 cm

g = gravidade

h = altura de lançamento

$$E = 0,960 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,70 \text{ m} = 6,72 \text{ J}$$

$$E = 0,960 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 1,10 \text{ m} = 10,56 \text{ J}$$

Estes ajustes da energia de impacto do ensaio, justifica-se neste trabalho pela esperada resistência inferior das placas moldadas com argamassa em relação as placas de concreto tomadas como referência pela norma consultada. A NBR 15805 (ABNT, 2015), prescreve ainda o sistema de como as placas devem ser ensaiadas, demonstrada na Figura 29.

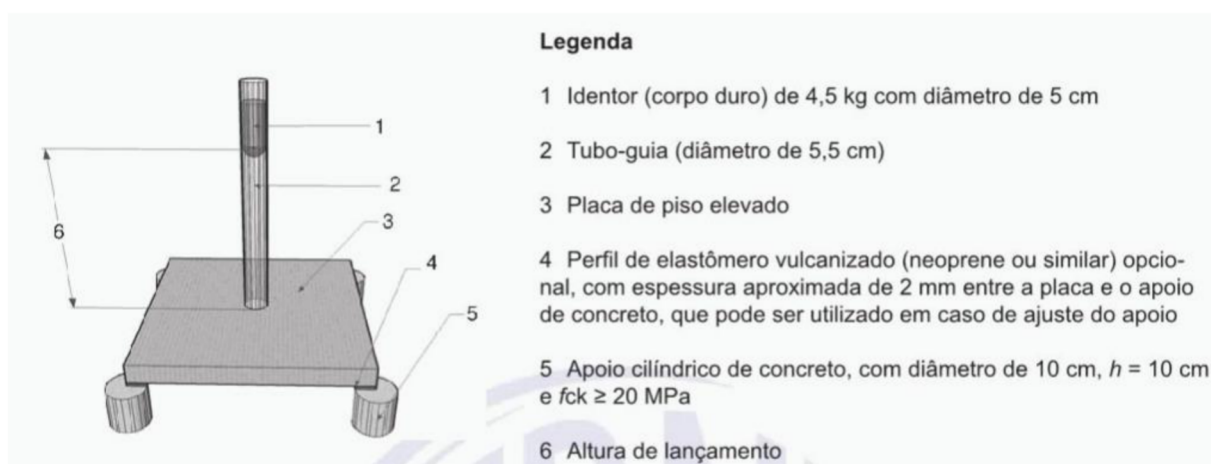


Figura 29 – Esquema de ensaio de avaliação de resistência ao impacto de corpo duro

Fonte: Autor (2021).

O ensaio de impacto de corpo duro nas placas de argamassa de 0,40 m (largura) x 0,40 m (comprimento) x 0,03 m (espessura), para cada traço deste trabalho, foi realizado após os 28 dias de cura, com as placas secas e isentas de pó.

Inicialmente, as placas foram ensaiadas na condição de que não lhe ocorressem dano acentuado, com altura de lançamento de 70 cm, conforme esquema da Figura 29, gerando impactos de 6,72 J em placas distintas. Sendo então, realizados impactos sobre o centro, o eixo de uma das bordas e no canto da placa, a uma distância de 15 cm medida na bissetriz do ângulo do canto da placa, onde para cada caso mencionado foram ensaiadas duas placas distintas.

Foi avaliado também, a resistência de uma placa de cada traço ao traspassamento por um impacto de corpo duro, simulando dessa forma, uma situação excepcional de estado-limite último. Onde a NBR 15805 (ABNT, 2015) recomenda a utilização do mesmo sistema ilustrado na Figura 30, porém nesse caso o ensaio foi realizado com uma altura de queda do idêntor, corpo duro impactante, de 110 cm, gerando impacto de 10,56 J.

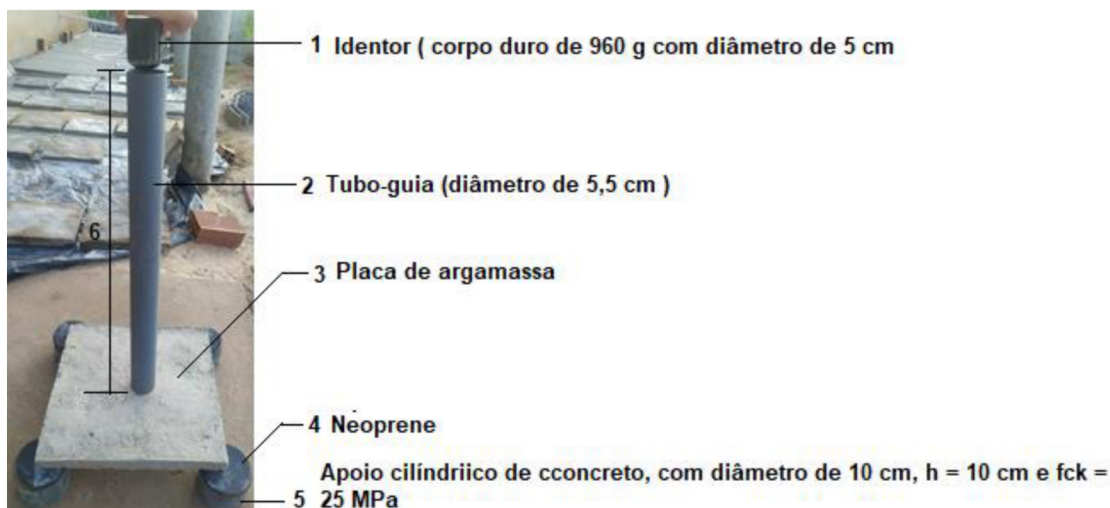


Figura 30 – Adaptação do esquema de ensaio de avaliação de resistência ao impacto de corpo duro

Fonte: Autor (2021).

Após a realização do lançamento do identor em cada caso, os corpos de prova foram avaliados conforme exigências de norma 15805 (ABNT, 2015) para cada altura de lançamento. Sendo admitidas falhas superficiais, como mossas, fissuras e desagregações, para as placas ensaiadas com energia de 6,72 J; e falhas localizadas, tais como trincas e destacamentos, desde que essas falhas localizadas não sejam capazes de resultar em ferimentos do usuário, para as placas ensaiada com energia de 10,56 J.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados da caracterização e avaliação da degradação das fibras a base de poliéster, utilizada no desenvolvimento da pesquisa, para produção de argamassa reforçada com fibras, assim como os resultados obtidos a partir da investigação do aparecimento de fissuras e dos ensaios de esclerometria e impacto de corpo duro.

4.1 INVESTIGAÇÃO DO APARECIMENTO DE FISSURAS

Optou-se por fazer uma abordagem qualitativa do eventual aparecimento de fissuração nas argamassas aplicadas como revestimento horizontal, com e sem adições de fibras. Dessa forma, observou-se a ausência de qualquer indicio de fissuração em todos os corpos de prova analisados com traço padrão, AF75 e AF100, durante as primeiras 4, 6, 8 e 12 horas analisadas, assim como nos primeiros dias, nos quais as argamassas foram observadas com 3, 7 e 14 dias.

Analizando os corpos de prova com dimensões de 1,20 m (comprimento) x 1,00 m (largura) x 0,03 m (espessura), com e sem adições de fibras e exposto ao sol, nas primeiras horas com 4, 6, 8 e 12 horas após a moldagem, aparentemente não foi verificado nenhuma fissura. Então as placas foram monitoradas quanto a fissuração, após a retirada das fôrmas, e após o início do processo de cura por ciclo de molhagem, porém decorridos 14 dias, nenhuma fissura foi observada nas 8 (oito) placas analisadas para cada traço, conforme mostra a Figura 31.



Figura 31 – Placas de argamassa de 1,20 m (comprimento) x 1,00 m (largura) x 0,03 m (espessura), após 14 dias
Fonte: Autor (2021).

Analizando a placa única de argamassa com dimensões de 2,40 m (comprimento) x 0,80 m (largura) x 0,03 m (espessura), confeccionada com o traço padrão, AF75 e AF100, ausente de juntas de dilatação, e sem submeter a mesma, a nenhum processo de cura, não foi observado

fissuras nas primeiras horas, nem mesmo após 4, 6, 8 e 12 horas e tão pouco após 3, 7 e 14 dias, como mostra a Figura 32.



Figura 32 – Placas de argamassa de 2,40 m (comprimento) x 0,80 m (largura) x 0,03 m (espessura), após 14 dias
Fonte: Autor (2021).

As placas de argamassa de 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 0,03 m (espessuras), confeccionadas para a realização dos ensaios de dureza superficial e impacto de corpo duro, também foram analisadas quanto a fissuração devido a retração plástica e movimentações higrotérmicas. E assim como nos corpos de prova anteriormente analisados, não foi constatado o aparecimento de fissuras para nenhum dos traços padrão, AF75 e AF100, Figura 33.



Figura 333 – Placas de argamassa de 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (largura) x 0,03 m (espessura), após 14 dias
Fonte: Autor (2021).

O que pode ter influenciado para não ter ocorrido a fissuração em ambos os corpos de prova, foi a baixa restrição do substrato à retração da argamassa aplicada como revestimento horizontal. Pois de acordo com Silva (2011), as técnicas mais utilizadas para avaliar o aparecimento de fissuras e microfissuras higrotérmicas em materiais cimentícios, utiliza-se de métodos diretos, baseados em observações a olho nu, com a utilização de lupa ou microscópio. Porém, em relação a incidência de fissuras em argamassas no estado fresco, não existe um método direto padronizado para tal, sendo realizado essencialmente de modo experimental através da visualização, utilizando moldes com restrições, placas ou anéis.

Silva (2011), em sua pesquisa sobre retração e fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica, investigou a fissuração das argamassas tanto através de moldes com restrições no fundo para induzir a fissuração, como também aplicando em revestimento cerâmico, não restringido. Onde observou-se uma elevada taxa de fissuras nos elementos restringidos, enquanto que para as argamassas aplicadas como revestimento cerâmico não foi verificado nenhuma fissura antes e depois do sarrafeamento e antes do desempenho, nem mesmo depois de 35 dias após aplicação.

Já Siqueira (2006), em sua pesquisa utilizando fibras naturais e sintéticas em revestimento de alvenaria, só conseguiu avaliar o surgimento das primeiras fissuras das argamassas aplicadas como revestimento, após 150 dias da aplicação em argamassas com e sem adições de fibras, onde o autor associou o aparecimento das fissuras a provável retração causada pela significativa mudança nas condições climáticas durante o período de análise.

Mesmo não constatando o aparecimento de fissuras devido a retração plástica nas primeiras 4, 6, 8 e 12 horas e tão pouco fissuras relacionadas à movimentações higrotérmicas com 3, 7 e 14 dias, na seção a seguir, serão verificados, a eficiência das fibras em traços de argamassas preparados no concerne de restrição de fissuras e trincas no estado fissurado a partir dos ensaios de esclerometria e impacto de corpo duro.

4.2 DUREZA SUPERFICIAL

Os Quadros 3, 4 e 5 apresentam os índices esclerométricos aos 28 dias nos corpos de prova dos traços padrão, AF75 e AF100, antes de serem submetidos ao ensaio de impacto de corpo duro. Os IE's com hachura em amarelo estão fora do intervalo de $\pm 10\%$ do índice esclerométrico médio do corpo de prova ($IE_{m,cp}$), e portanto, não entraram no cálculo do índice esclerométrico médio final do corpo de prova ($IE_{mf,cp}$), assim como as placas 3 e 5 dos corpos de prova padrão e a placa 4 do traço de argamassa com 0,10% de fibras, por restarem menos de

5 IE's como recomendado por norma. No entanto, para as demais placas, sobraram mais de 5 índices esclerométricos dentro do intervalo $\pm 10\%$ do $IE_{m,cp}$, os quais foram calculados os $IE_{mf,cp}$.

Fica evidente que os IE's obtidos em cada placa apresentaram bastante heterogeneidade, em ambos os traços analisados, e essa heterogeneidade encontrada pode ser devido a superfície áspera apresentada pelos corpos de prova, ou ainda, pela dificuldade encontrada na etapa, em que foi necessário apoiar os corpos de prova em uma superfície plana, por este possuir seção menor que 10 cm, onde a NBR 7584 (ABNT, 2013) em seu Item 4.4, não recomenda áreas de ensaio em corpos de prova com dimensões menores que 10 cm na direção do impacto, indicando o emprego de um apoio, de encontro a face oposta a área de ensaio.

Corpos de prova padrão						
Índice esclerométrico (IE)						
Medida	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6
1	12	10	14	10	14	10
2	12	12	16	10	14	10
3	14	12	18	12	12	10
4	14	12	14	10	10	12
5	10	12	16	10	10	12
6	14	12	14	10	12	12
7	12	12	18	10	14	10
8	14	10	18	12	12	10
9	12	10	18	10	12	12
10	12	10	16	0	12	0
11	12	12	14	10	10	10
12	12	12	18	10	10	0
13	12	12	18	0	10	0
14	12	12	16	0	14	10
15	12	10	18	10	12	0
16	10	10	14	0	10	10
$IE_{m,cp}$	12,25	11,25	16,25	7,75	11,75	8,00
$IE_{mf,cp}$	12	12	-	-	12	-

Quadro 3 – Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias nos corpos de prova do traço padrão

Fonte: Autor (2021).

Corpos de provas com 0,075% de fibras						
Índice esclerométrico (IE)						
Medida	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6
1	14	14	14	12	12	12
2	16	14	14	12	14	14
3	14	16	12	14	14	12
4	16	14	14	12	14	14
5	16	16	12	14	14	12
6	14	16	16	14	12	12
7	14	14	14	14	14	14
8	16	16	12	12	14	12
9	16	12	14	10	14	12
10	16	16	12	10	14	12
11	16	14	16	14	12	14
12	18	16	16	12	14	14
13	14	16	16	14	14	14
14	18	16	12	10	14	12
15	16	14	12	14	14	14
16	16	14	12	10	14	14
IE _{m,cp}	15,63	14,88	13,63	12,38	13,63	13
IE _{mf,cp}	16	15,07	14	12	14	13

Quadro 4 – Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias nos corpos de prova do traço AF75

Fonte: Autor (2021).

Corpos de provas com 0,10% de fibras						
Índice esclerométrico (IE)						
Medida	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6
1	10	14	14	10	12	14
2	12	14	12	12	14	14
3	12	12	14	10	12	14
4	12	12	14	10	10	12
5	10	12	12	10	12	12
6	10	14	14	10	14	14
7	12	14	10	14	12	14
8	10	12	14	14	12	12
9	10	14	12	12	10	12
10	10	14	12	10	10	14
11	10	14	10	10	12	12
12	12	14	12	10	16	12
13	12	14	14	10	12	14
14	10	12	14	12	12	14
15	10	12	12	14	12	14
16	10	14	10	14	14	14
IE _{m,cp}	10,75	13,25	12,50	11,38	12,25	13,25
IE _{mf,cp}	10	14	12	-	12	13,25

Quadro 5 – Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias nos corpos de prova do traço AF100

Fonte: Autor (2021).

Por se tratar de um ensaio adaptado da NBR 7584 (ABNT, 2013), para avaliação da dureza superficial do concreto, com a média dos índices esclerométricos obtidos para os traços padrão, AF75 e AF100, não foi possível correlacionar os IE_{mf,cp} com a resistência à compressão, por meio do gráfico fornecido pelo fabricante junto ao esclerômetro, devido aos

baixos valores de $IE_{mf,cp}$ obtidos para cada traço, sendo 15 (quinze) o valor mínimo do índice esclerométrico de entrada no Gráfico.

Após análise dos resultados apresentados no Quadro 3, 4 e 5, foi realizado uma média aritmética, entre os $IE_{mf,cp}$, de cada traço, padrão, AF75 e AF100, dos corpos de provas restantes, ou seja, que apresentaram mais de 5 IE's, como recomenda a norma, exposto na Figura 34.

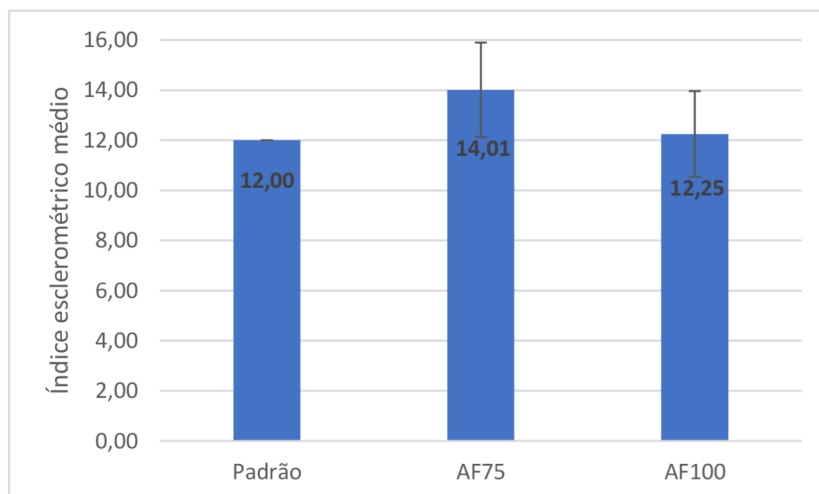


Figura 34 – Média dos Índices esclerométricos obtidos aos 28 dias
Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados, podemos observar que o traço AF75 quando comparado ao traço padrão, apresentou um ganho de resistência mecânica e um ganho de dureza superficial, o que sugere que este tipo de amostra para essa porcentagem de fibra, tenha um perfil de fissuramento menos evidente que as demais amostras, tanto no estado de propagação de fissuras como também de abertura de fissuras.

A partir dos dados apresentados na Figura 34, espera-se que os corpos de prova, com 0,075% de fibras tenha um menor índice de fissuramento e um perfil mais brando de propagação de fissuras quando comparado aos corpos de prova controle, evidenciando assim, a influência das fibras utilizadas quanto a dureza superficial. Já em relação ao traço AF100, o índice esclerométrico médio é idêntico aos corpos de prova controle, considerando o desvio padrão.

Um outro ponto observado, é que houve um decréscimo no índice esclerométrico médio à medida que aumentou a porcentagem de fibra, isso pode corroborar com o fato de que há um maior índice de vazios nessas amostras, podendo tal fenômeno estar atrelado a duas hipóteses, a degradação das fibras ou a quantidade de água absorvida pelas mesmas, porém vale ressaltar que os índices esclerométricos médios para os traços AF75 e AF100 são próximos considerando o erro da média, entretanto o valor da mediana do índice não é.

Isso denota a importância do resultado obtido, pois neste primeiro momento, existe um ponto de saturação da quantidade de fibras no traço, sendo que para quantidades próximas de 0,10% de fibras em termos de volume, há um decréscimo no índice esclerométrico e consequentemente uma diminuição na eficiência mecânica da argamassa. Para avaliar a relação da quantidade de fibras com o índice esclerométrico, medida da dureza superficial, e o perfil do estado fissurado das amostras, na seção a seguir será discutido os resultados dos ensaios de corpo duro onde retratam o comportamento do estado fissurado das argamassas dotadas de fibras à base de poliéster.

4.3 IMPACTO DE CORPO DURO

Os ensaios de resistência ao impacto de corpo duro foram realizados a partir de uma adaptação dos procedimentos descritos na NBR 15805 (ABNT, 2015) - Pisos elevados de placas de concreto – Requisitos e procedimentos, utilizando 6,72 J como energia de impacto, para o caso, onde a norma admite falhas superficiais como mossas fissuras e desagregação e 10,56 J, como resistência de uma placa ao traspassamento por um impacto de corpo duro que simule uma situação excepcional, Estado-limite último, onde a mesma admite falhas localizadas como trincas e destacamento, desde que não sejam capazes de resultar em ferimentos do usuário, conforme descrito no item 4.5.3.

Utilizando 6,72 J como energia de impacto, no centro, sobre o eixo de uma das bordas e no canto a uma distância de 15 cm medida no eixo da bissetriz do ângulo, foram observados fenômenos como: mossas e fissuras para ambos os traços analisados, com e sem adições de fibras à base de poliéster, aceitos por norma. Entretanto, foram observados também fenômenos como: trincas, rachaduras, e ruptura do sistema, invalidando assim o uso de tais placas, Figura 35.

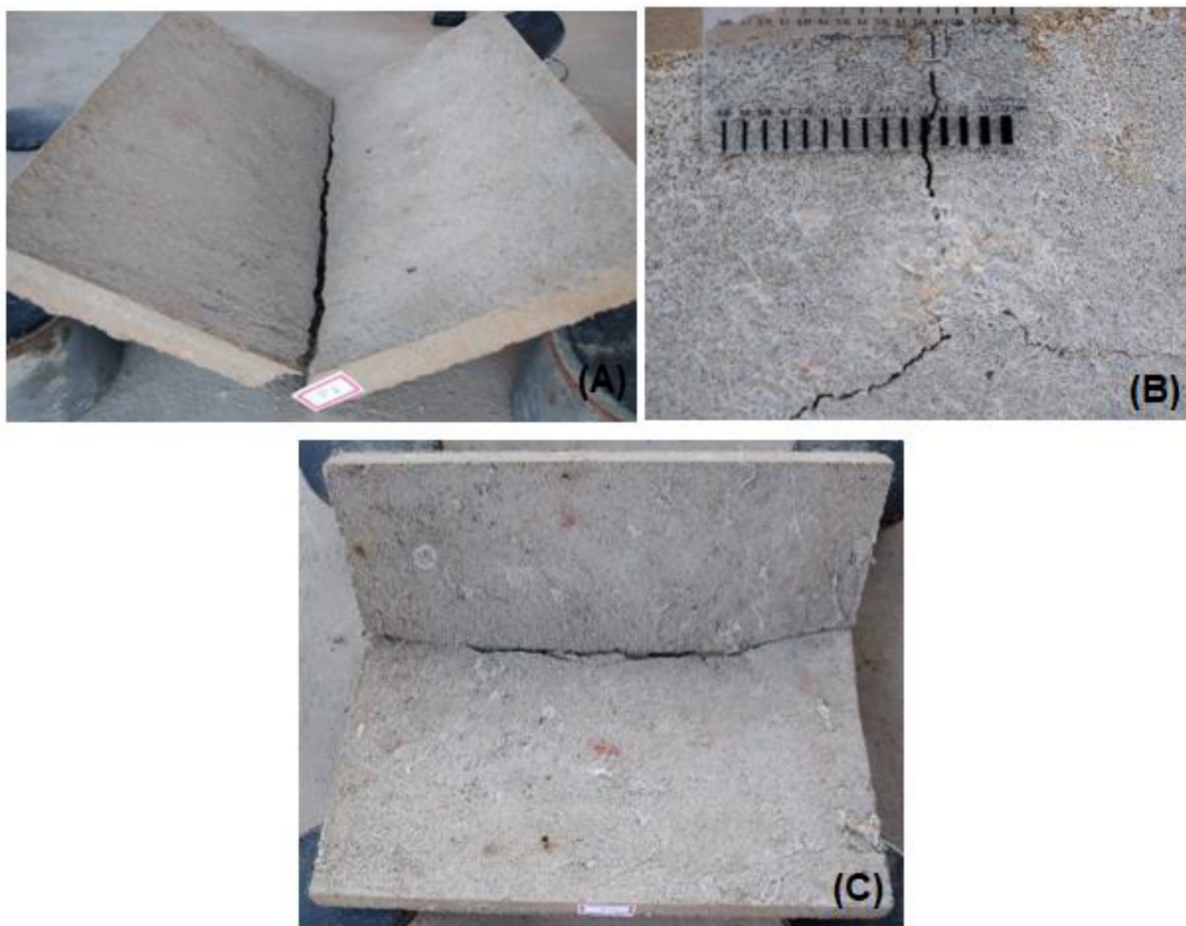


Figura 35 – Energia de impacto (6,72 J): (A) traço padrão, (B) traço AF75 e (C) traço AF100
Fonte: Autor (2021).

Já utilizando 10,56 J com um único impacto no centro, apenas os corpos de prova do traço AF75 apresentaram fissuras e trincas como admitido por norma, no entanto, os corpos de prova dos traços padrão e AF100 ensaiados apresentaram ruptura total, invalidado assim o uso de tais placas, Figura 36.

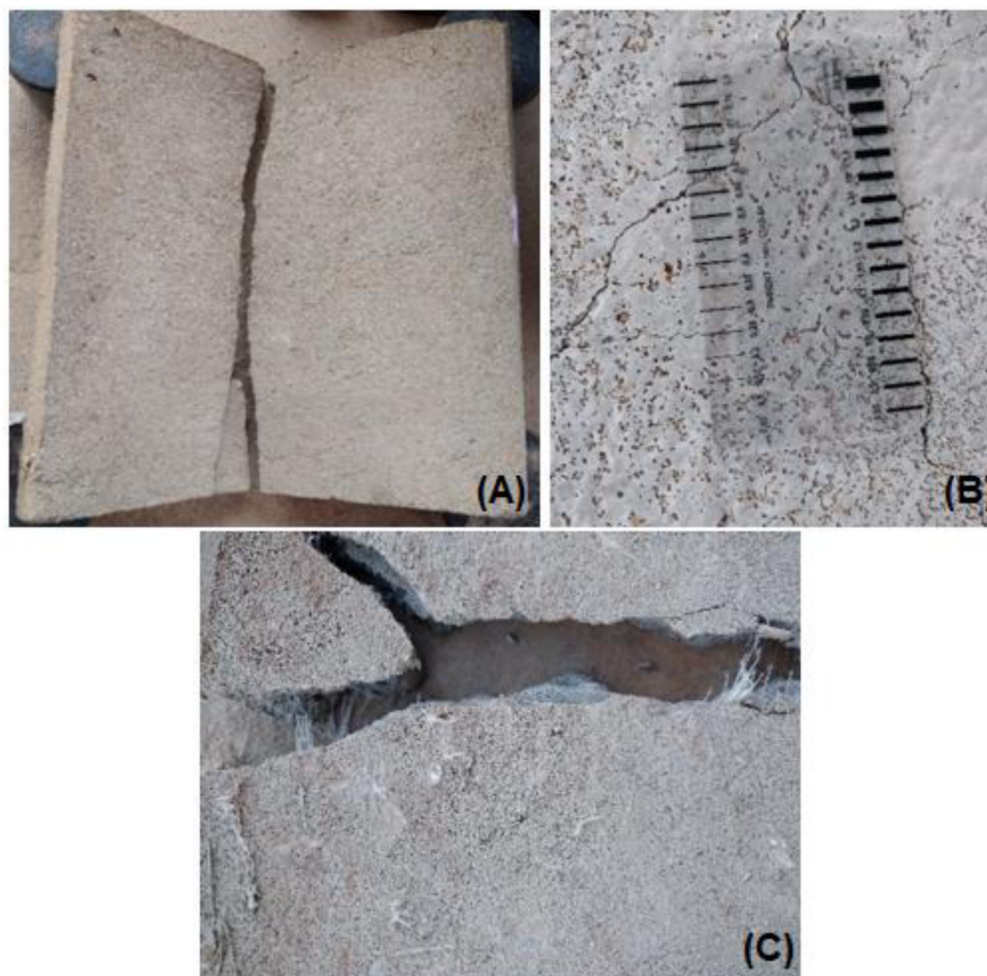


Figura 36 – Energia de impacto (10,56 J): (A) traço padrão, (B) traço AF75 e (C) traço AF100
Fonte: Autor (2021).

Tais resultados podem estar atrelados ao procedimento utilizado na adaptação da energia de impacto para a realização dos ensaios nos corpos de prova com traço de argamassa ao invés de concreto como recomenda a norma. Uma vez que, a mesma recomenda o uso de 30 J como resistência mínima da placa a fim de que não lhe ocorram danos acentuados e 50 J como resistência mínima da placa ao traspasse ruína ou perda de estabilidade do sistema para traço de concreto, enquanto que para os corpos de prova de argamassa foi utilizado 6,72 J e 10,56 J, devido a maior fragilidade da argamassa em estado endurecido que o concreto.

No entanto, com os resultados apresentados nas Figuras 35 e 36, é possível dizer que os traços com adições de fibras à base de poliéster apresentaram melhor desempenho, quanto a abertura e propagação de fissuras, quando comparado com o traço padrão. Pois é possível observar a partir das imagens, a hipótese das fibras atuando como pontes de transferência de tensão, uma vez que as placas de traço AF75, após impacto, apresentaram fissuras, trincas e rachaduras, sem a situação de ruptura completa. Enquanto que as placas de traço AF100, mesmo

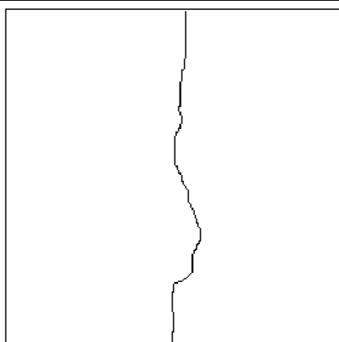
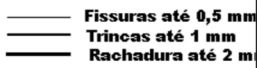
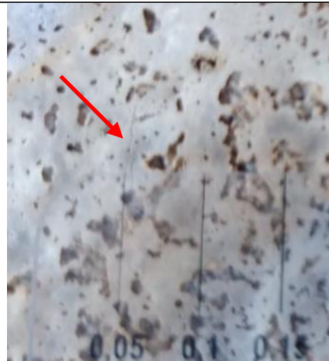
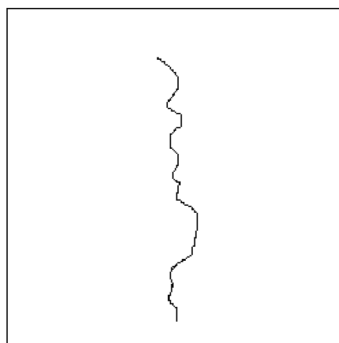
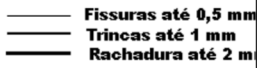
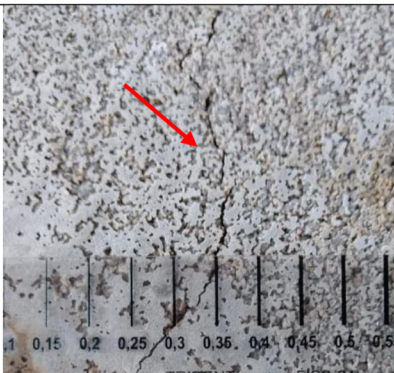
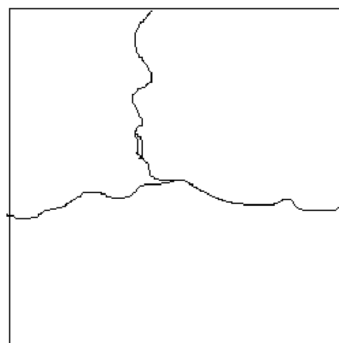
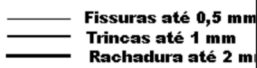
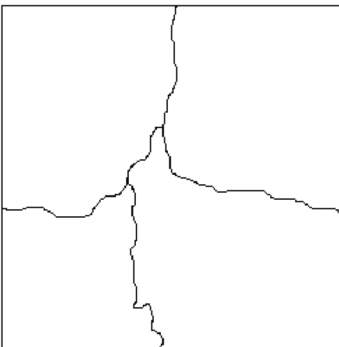
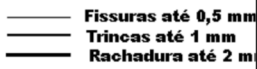
apresentando ruptura, é possível ver na Figura 36 (C), as fibras trabalhando de forma a impedir a ruptura total do sistema.

4.3.1 Correlação entre o ensaio de corpo duro e esclerometria

A partir do ensaio de esclerometria nos corpos de provas de 0,40 m (comprimento) x 0,40 m (espessura) x 0,03 m (largura), para os traços, padrão, AF75 e AF100 aos 28 dias. É esperado que o traço AF75 evidencie um grupo de impacto de corpo duro cujo perfil de fissuramento seja localizado, que os valores médios das fissuras sejam inferiores aos outros dois traços, padrão e AF100, assim como a incidência do rompimento das placas para as amostras ensaiadas com diferentes energias de impacto.

Para tal, foram realizadas análises dividindo as placas ensaiadas em função da energia e local de impacto em: Grupo 1, impacto no centro; Grupo 2, impacto sobre o eixo de uma das bordas; Grupo 3, impacto no canto a uma distância de 15 cm medida no eixo da bissetriz do ângulo, utilizando 6,72 J como energia de impacto e Grupo 4, impacto no centro, utilizando 10,56 J. Assim sendo, foi possível analisar o padrão de abertura de fissuras e o perfil de fissuramento para os traços com e sem adições de fibras a partir do índice esclerométrico médio obtido para cada traço.

Para as placas ensaiadas com 6,72 J de energia de impacto no centro (Grupo 1), em relação ao perfil de fissuramento, o traço padrão apresentou fissura geométrica unidirecional, enquanto que os traços AF75 e AF100 apresentaram o perfil de fissuras geométricas unidirecionais como bidirecionais, Quadro 6.

IMPACTO NO CENTRO	PERFIL DE FISSURA	LEGENDA
TRAÇO PADRÃO (CONTROLE)		
		
		Valor med. esp. fissuras
		0,3 mm
TRAÇO AF75 (0,075% DE FIBRAS)		
		
		Valor med. esp. fissuras
		0,05 mm
		
		Valor med. esp. fissuras
		0,28 mm
TRAÇO AF100 (0,10% DE FIBRAS)		
		
		Valor med. esp. fissuras
		0,22 mm

Quadro 6 – Grupo 1, energia de impacto (6,72 J)

Fonte: Autor (2021).

Já em relação a espessura média de abertura de fissuras podemos observar, que os traços com adição de fibras à base de poliéster apresentaram melhor eficiência quando comparadas

com o traço padrão na situação 6,72 J de energia de impacto. Destaca-se o traço AF75, traço esse que apresentou maior índice esclerométrico e consequentemente menor perfil de fissuração. A Figura 37 apresenta uma análise unificada do ensaio de esclerometria e de corpo duro para energia de impacto 6,72 J.

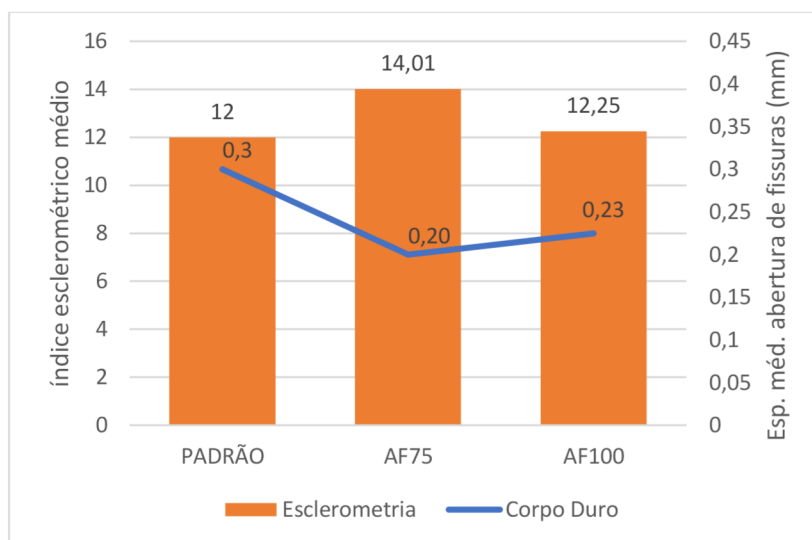
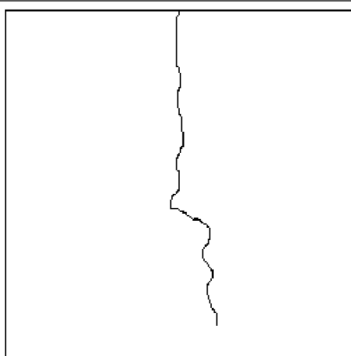
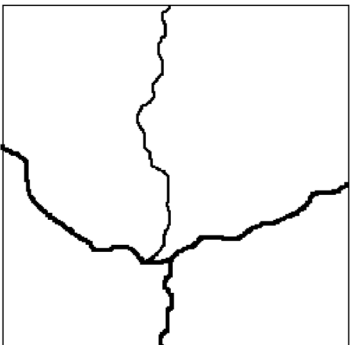
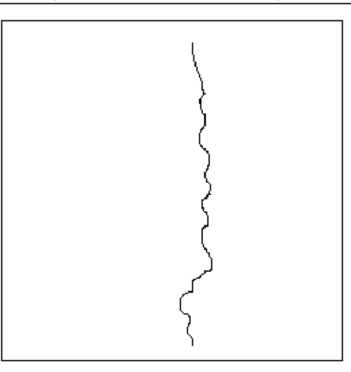
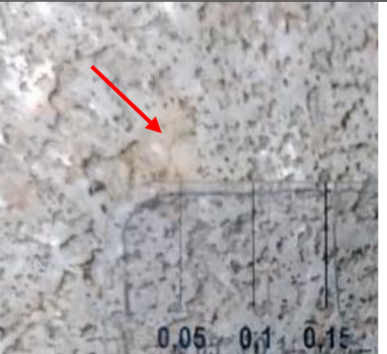
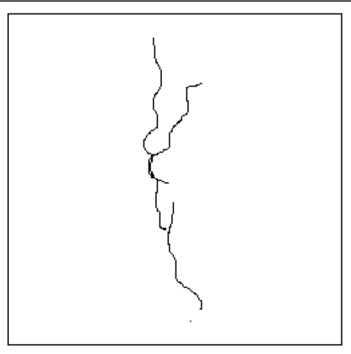


Figura 37 – Grupo 1, energia de impacto (6,72 J)

Fonte: Autor (2021).

Para o grupo 2, placas ensaiadas sobre o eixo de uma das bordas, o traço AF75 apresentou fissuras, trincas e rachaduras geométricas unidirecionais e bidirecionais, enquanto que o traço AF100 apresentou apenas fissuras geométricas unidirecionais e bidirecionais, Quadro 7. Porém não foi possível analisar o perfil de fissuramento nas placas de traço padrão, devido a ruptura dos dois corpos de prova ensaiados.

IMPACTO NO EIXO DE UMA DAS BORDAS	PERFIL DE FISSURA	LEGENDA
TRAÇO AF75 (0,075% DE FIBRAS)		
		 Fissuras até 0,5 mm  Trincas até 1 mm  Rachadura até 2 mm Valor med. esp. fissuras 0,25 mm
		 Fissuras até 0,5 mm  Trincas até 1 mm  Rachadura até 2 mm Valor med. esp. trincas 0,8 mm Valor med. esp. rachaduras 1,6 mm
TRAÇO AF100 (0,10% DE FIBRAS)		
		 Fissuras até 0,5 mm  Trincas até 1 mm  Rachadura até 2 mm Valor med. esp. fissuras 0,1 mm
		 Fissuras até 0,5 mm  Trincas até 1 mm  Rachadura até 2 mm Valor med. esp. fissuras 0,05 mm

Quadro 7– Grupo 2, energia de impacto (6,72 J)

Fonte: Autor (2021).

Para o caso de impacto sobre o eixo de uma das bordas, em relação à espessura média de abertura de fissuras, o traço AF100 apresentou menor índice esclerométrico médio, como

também, menor espessura de fissuras, apresentando assim uma divergência, quanto a hipótese de que, quanto maior o índice esclerométrico médio, menor a abertura e propagação de fissuras. Visto que, as placas de traço AF75 apresentaram índice esclerométrico e abertura de fissuras maiores, conforme apresentado na Figura 38. Esse resultado revela que o estado fissurado de propagação e abertura de fissuras é afetado pela região de impacto do indutor sobre as placas.

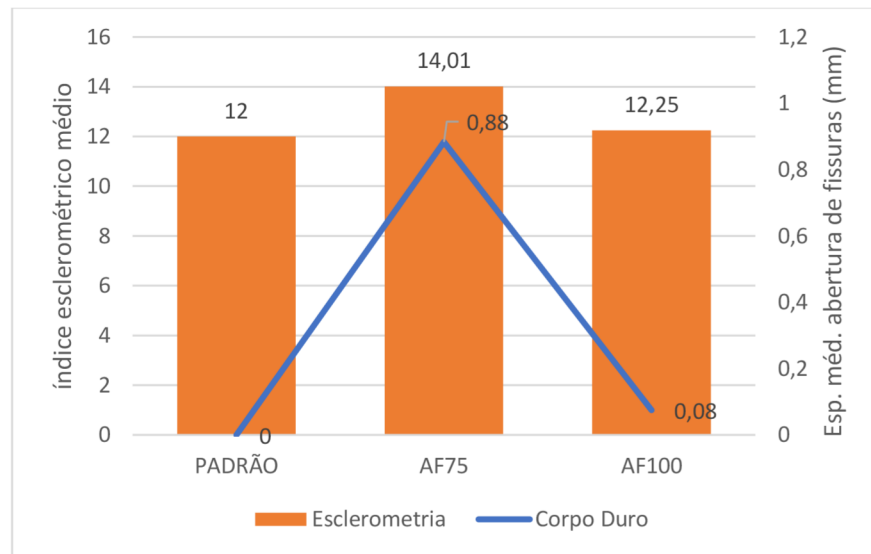
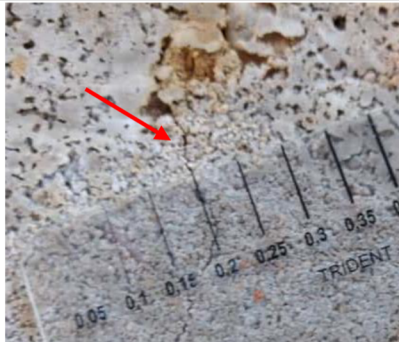
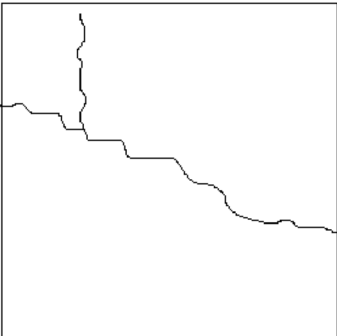
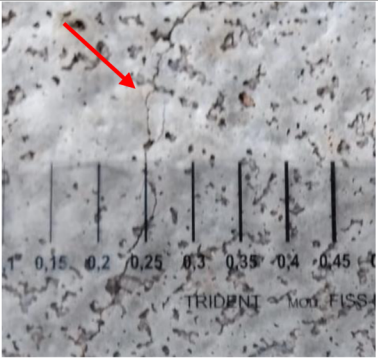
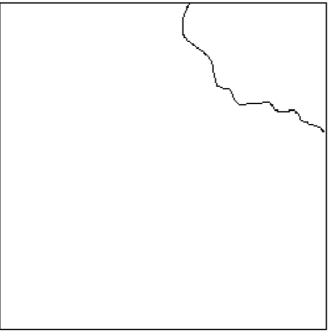
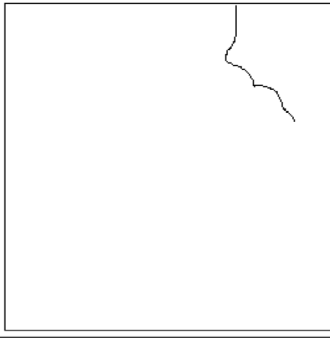
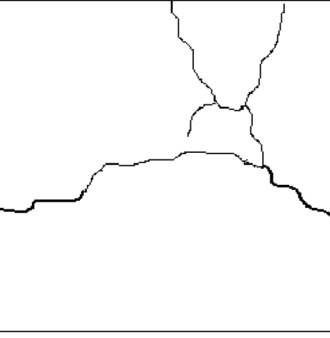
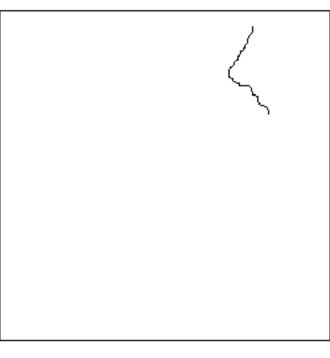


Figura 38 – Grupo 2, energia de impacto (6,72 J)
Fonte: Autor (2021).

Para o Grupo 3, impacto no canto a uma distância de 15 cm medida no eixo da bissetriz do ângulo, o traço padrão apresentou fissuras geométricas bidirecionais, o traço AF75 apresentou um perfil de fissuras geométricas unidirecionais enquanto que o traço AF100 apresentou fissuras geométricas unidirecionais bem como, fissuras e trincas mapeadas conforme evidenciado no Quadro 8.

IMPACTO NO CANTO	PERFIL DE FISSURA	LEGENDA
TRAÇO PADRÃO (CONTROLE)		
		Fissuras até 0,5 mm Trincas até 1 mm Rachadura até 2 mm
		Valor med. esp. fissuras
		0,15 mm
TRAÇO AF75 (0,075% DE FIBRAS)		

		— Fissuras até 0,5 mm — Trincas até 1 mm — Rachadura até 2 mm
		— Fissuras até 0,5 mm — Trincas até 1 mm — Rachadura até 2 mm
TRAÇO AF100 (0,10% DE FIBRAS)		
		— Fissuras até 0,5 mm — Trincas até 1 mm — Rachadura até 2 mm
		— Fissuras até 0,5 mm — Trincas até 1 mm — Rachadura até 2 mm

Quadro 8 – Grupo 3, energia de impacto (6,72 J)

Fonte: Autor (2021).

Já em relação a espessura média de fissuras, o traço padrão e AF75 apresentaram o mesmo valor médio de fissura, porem índices esclerométricos diferentes. Sendo o traço AF75 com maior índice esclerométrico, conforme Figura 38.

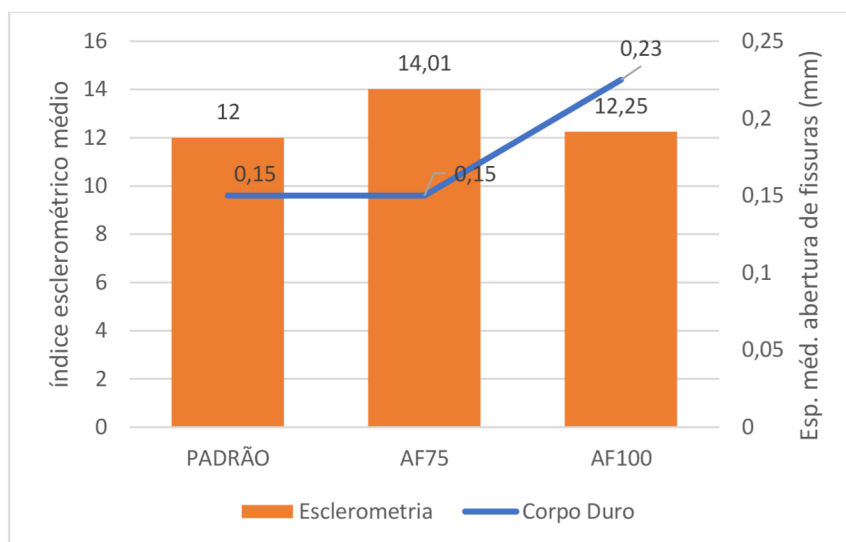


Figura 39 – Grupo 3, energia de impacto (6,72 J)
Fonte: Autor (2021).

Como esperado, as argamassas de traço AF75 apresentaram um perfil de fissuração localizado, assim como valores médios de abertura de fissuras inferiores aos outros dois traços, o padrão e AF100, assim como a incidência do rompimento das placas para as amostras ensaiadas com impacto no centro e no canto. Com exceção dos impactos realizados nos eixos de uma das bordas, onde as argamassas AF75 apresentaram um perfil de fissuras com maior distribuição e espessura média de abertura, quando comparado com o traço AF100. Este resultado pode ser mais facilmente interpretado na Figura 40. Já em relação a incidência ao rompimento das placas em ambas as posições de impacto ensaiadas, o traço AF75 foi o que apresentou menor incidência (ANEXO 1).

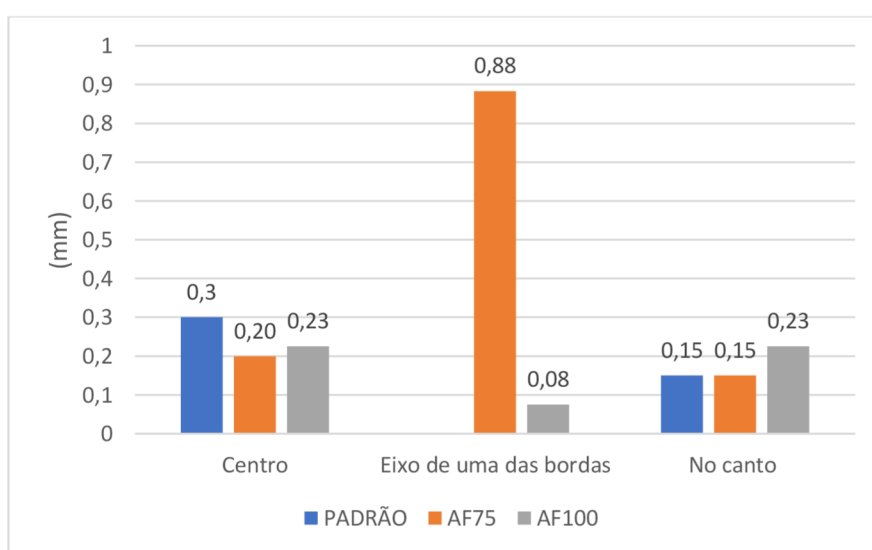
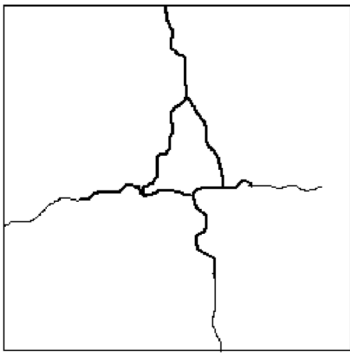


Figura 40 – Espessura média de abertura de fissuras, energia de impacto (6,72 J)
Fonte: Autor (2021).

Para as placas avaliadas quanto a resistência mínima ao traspassamento por um impacto de corpo duro que simule uma situação excepcional (estado-limite último), no qual a norma admite falhas localizadas como trincas e destacamentos. Apenas o traço AF75 apresentou abertura de fissura média de 0,25 mm e trincas de 0,7 mm, enquanto que os corpos de prova dos traços controle e AF100, apresentaram ruptura. Em relação ao perfil de fissuramento observado, para as placas ensaiadas com 10,56 J de energia de impacto aplicada no centro, o traço AF75 apresentou fissuras e trincas geométricas bidirecionais, Quadro 9.

TRAÇO AF75 (0,075% DE FIBRAS)		
Impacto no centro	Perfil de fissura	legenda
		— Fissuras até 0,5 mm — Trincas até 1 mm — Rachadura até 2 mm
		Valor med. esp. fissuras
		0,25 mm
		Valor med. esp. trincas
		0,7 mm

Quadro 9 – Grupo 4, energia de impacto (10,56 J)

Fonte: Autor (2021).

Sendo assim, o resultado obtido para este caso, onde as placas foram ensaiadas com 10,56 J de energia de impacto, realizado no centro da placa. Este resultado reforça a hipótese de que, quanto maior o índice esclerométrico médio, menor a incidência e abertura de fissuras, Figura 41. Entretanto, as placas dos traços de argamassa padrão e AF100, romperam com o impacto, comportando-se como um material frágil.

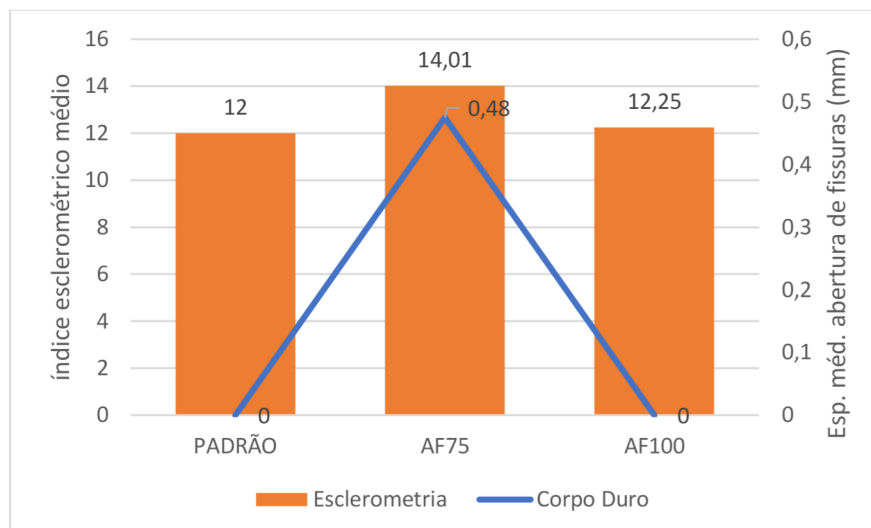


Figura 41 – Grupo 1, energia de impacto (10,56 J)
Fonte: Autor (2021).

Os resultados dos ensaios de impacto por corpo duro e esclerometria, corroboram com os estudos de Silva Neto (2018) e Silva Júnior (2013) para melhorias no desempenho mecânico para amostras com pequenas quantidades de fibras. O primeiro pesquisador observou um aumento significativo na resistência ao impacto em compósito reforçado com 0,5% de fibras de polipropileno e fibras de poliéster, em relação a massa do cimento, distribuídas na matriz cimentícia, em diferentes comprimentos. Enquanto que o segundo pesquisador, também constatou um aumento na resistência ao impacto nas argamassas reforçadas com 0,25% de fibras de poliéster, em volume de argamassa, quando comparada com as argamassas reforçadas com fibra de vidro e a argamassa de referência. Onde a argamassa com fibra de poliéster foi a que absorveu mais energia até a ruptura, com um valor de até 46,3% em incremento de tenacidade.

Silva (2006), associa esse aumento na capacidade de absorção de energia pelas argamassas com a adição das fibras na matriz frágil, uma vez que as fibras dificultam a propagação das fissuras, servindo como uma costura entre as mesmas, então para as fissuras se propagarem é necessário arrancar a fibra ou rompe-la, necessitando para isso um elevado gasto de energia e enquanto isso não ocorre, outra fissura se inicia em outro ponto da matriz e se propaga até encontrar outra fibra.

Com os resultados até aqui apresentados, pode-se concluir que a adição de fibras nas amostras de argamassa diminui qualitativamente e quantitativamente a incidência de abertura e de propagação de fissuras nas argamassas ensaiadas, sendo que a quantidade de fibras próximas

a 0,10% torna as amostras ensaiadas mais frágeis e suscetíveis a fissuras extensas e de maior calibre, mapeadas quando comparadas ao traço com 0,075% de fibras.

A segunda questão que este trabalho visa responder, é referente a durabilidade das fibras à base de poliéster dentro das argamassas. Uma vez que, para uma interação mais eficiente das pontes de transmissão de tensão entre a fibra e a matriz cimentícia, a cadeia polimérica das fibras deve ser capaz de resistir a ataques químicos de soluções ácidas e alcalinas presentes no meio eletrolítico da matriz cimentícia das argamassas.

4.4 CARACTERIZAÇÃO E DURABILIDADE DAS FIBRAS

Para a caracterização das fibras por Espectroscopia no Infravermelho, por Transformada de Fourier (FTIR), assim como, avaliar a degradação da fibra em soluções alcalinas e ácidas que simulam o meio eletrolítico da matriz cimentícia, foram escolhidas 9 (nove) amostras. No Quadro 10 estão descritas as características das amostras e o tempo de exposição das mesmas nas soluções agressivas.

Grupo	Soluções as quais as fibras foram imersas	Período de exposição
T1	Água destilada	8 meses
T2	solução de Lawrence	8 meses
T3	Ácido sulfúrico 10 mol.L ⁻¹	8 meses
T4	Água destilada	4 meses
T5	solução de Lawrence	4 meses
T6	Ácido sulfúrico 10 mol.L ⁻¹	4 meses
T7	Fibra <i>in nature</i>	-
T8-A	Hidróxido de sódio 0,1 mol.L ⁻¹	8 meses
T9-A	Hidróxido de sódio 0,1 mol.L ⁻¹	4 meses

Quadro 10 – Amostras ensaiadas

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 42, é evidenciado o espectro de transmitância de FTIR da amostra T7- Fibra *in nature* onde é possível observar assinatura dos picos satélites da transmitância dos estiramentos dos modos vibracionais da cadeia manométrica do poliéster, na região compreendida entre 700 cm⁻¹ e 1711 cm⁻¹, conforme padrão de transmitância do estudo de Peets et al. (2017). Em específico a banda 1711 cm⁻¹ é atribuída ao alongamento vibracional da ligação covalente C=O, já a banda 1579 cm⁻¹ representa o modo vibracional da ligação C-H do anel fenil. Enquanto que a banda 1406 cm⁻¹ está atrelada ao alongamento C-C do anel fenil. A banda 1240 cm⁻¹ e 1093 cm⁻¹ é devido ao estiramento da ligação C-O, conforme reportado no trabalho de Saftawy et al. (2014). Em relação a assinatura do elastano, a banda ~1454 cm⁻¹ e a região compreendida entre 2700 cm⁻¹ e 3300 cm⁻¹ representaram os modos vibracionais do estiramento C-H. Estes

modos, são condizentes com assinaturas dos grupos de elastano, especificamente em 2799 cm^{-1} , 2853 cm^{-1} e 3320 cm^{-1} (El-SAFTAWY, et al., 2014).

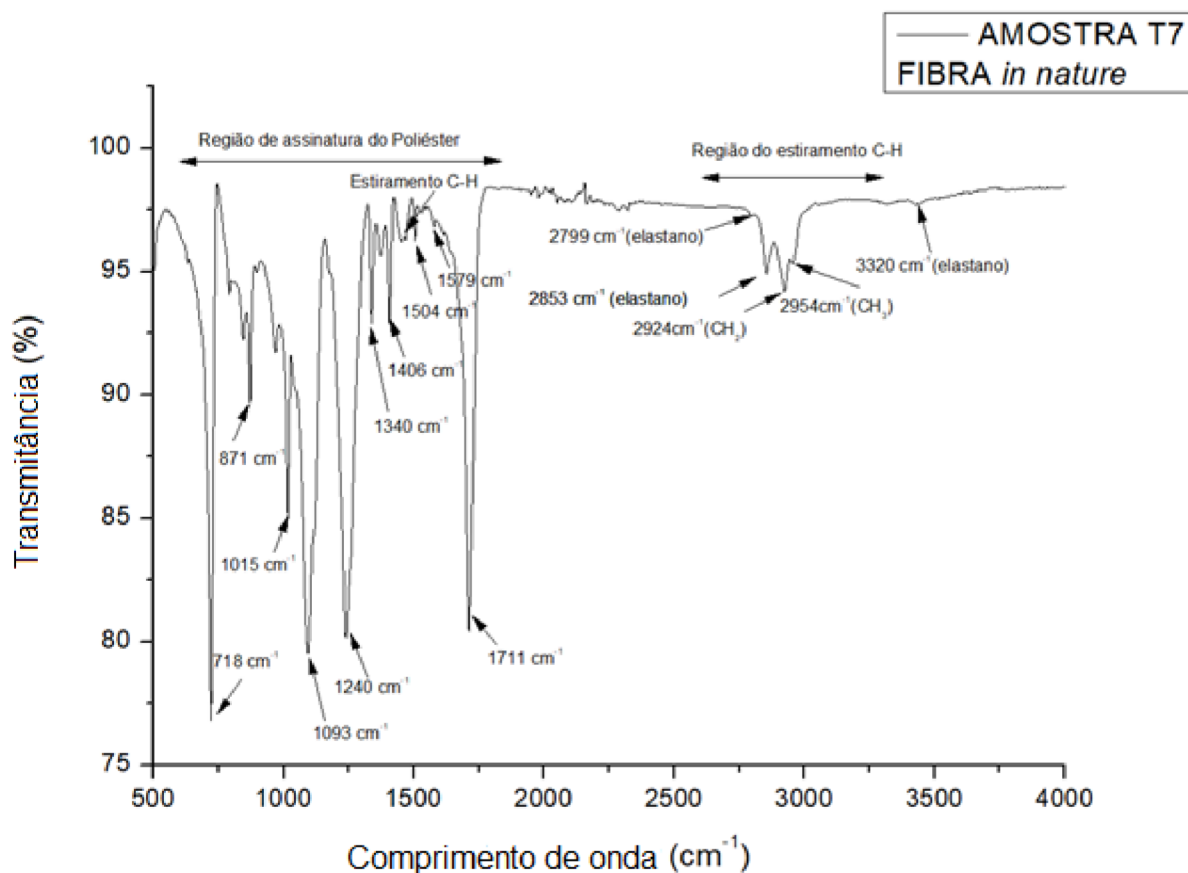


Figura 42 – Espectro de infravermelho da fibra a base de poliéster
Fonte: Autor (2021).

Ainda sobre o espectro de FTIR da amostra T7- Fibra *in nature* representado na Figura 42, é possível caracterizar quimicamente a fibra objeto de estudo deste trabalho em uma fibra de poliéster e pequenas quantidades de elastano. Onde o primeiro apresenta de fato uma maior quantidade estequiométrica que o segundo na composição geral da fibra. Essa observação corrobora com informações repassadas pela fábrica têxtil Sergitex, em que 92% da fibra do fabricante Shaoxing Pantian Chemical Fiber Co., Ltd. é composta por poliéster e apenas 8% da proporção estequiométrica da fibra corresponde ao elastano.

Na Figura 43 são expostos os espectros de transmitância em função do comprimento de onda do infravermelho médio (4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1}) de todas as amostras submetidas a presença de soluções alcalinas e ácidas comparadas com a amostra T7- Fibra *in nature*. É possível observar que a solução de Lawrence ($0,48\text{ g/L}$ de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + $3,45\text{ g/L}$ de KOH + $0,88\text{ g/L}$ de NaOH) para 4 meses de ensaio promoveu o estiramento das cadeias de Hidroxila (OH), região compreendida entre 3250 cm^{-1} a 3500 cm^{-1} , assim como promoveu uma deformação das

bandas na região de 1711 cm^{-1} , que estão atreladas aos modos vibracionais do estiramento da ligação C=O, com o surgimento de bandas vibracionais na região de 1638 cm^{-1} , pertencentes ao sistema aromático formado por C=O.

Este resultado levanta a hipótese que, qualitativamente, as fibras não se decompuseram na presença da solução de Lawrence, e sim que as bandas referentes aos modos vibracionais de C=O foram alteradas devido ao estiramento ou encurtamento das ligações químicas do grupo tereftalato. Entretanto, para o período total de 8 meses de exposição da fibra imersa na solução de Lawrence, o perfil do espectro de transmitância de FTIR se assemelha com os espectros das amostras controle T4 e T8 de água destilada e T7- Fibra *in nature*.

Na comparação dos espectros das amostras de fibras expostas a solução de Hidróxido de Sódio (NaOH , $0,1\text{ mol.L}^{-1}$) não foram observadas alterações quando comparadas ao espectro de transmitância das amostras controle T4 e T8 de água destilada e T7- Fibra *in nature*, ou seja, as fibras à base de poliéster são inertes a soluções básicas fortes. Entretanto, quando a fibra foi exposta ao longo de 4 meses a solução de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4 , 10 mol.L^{-1}) que simula um ambiente altamente agressivo as fibras, semelhante a situação de chuva ácida sobre argamassas, ocorreu o estiramento das cadeias de Hidroxila (OH), região compreendida entre 3250 cm^{-1} a 3500 cm^{-1} , semelhante à ação da solução de Lawrence sobre a fibra, e uma deformação em toda a região do espectro condizente com assinatura do poliéster. Chama-se atenção para o surgimento das bandas vibracionais de C=O em 580 cm^{-1} e 1648 cm^{-1} e C-O em 1121 cm^{-1} (CORTIZAS E COSTAS, 2020).

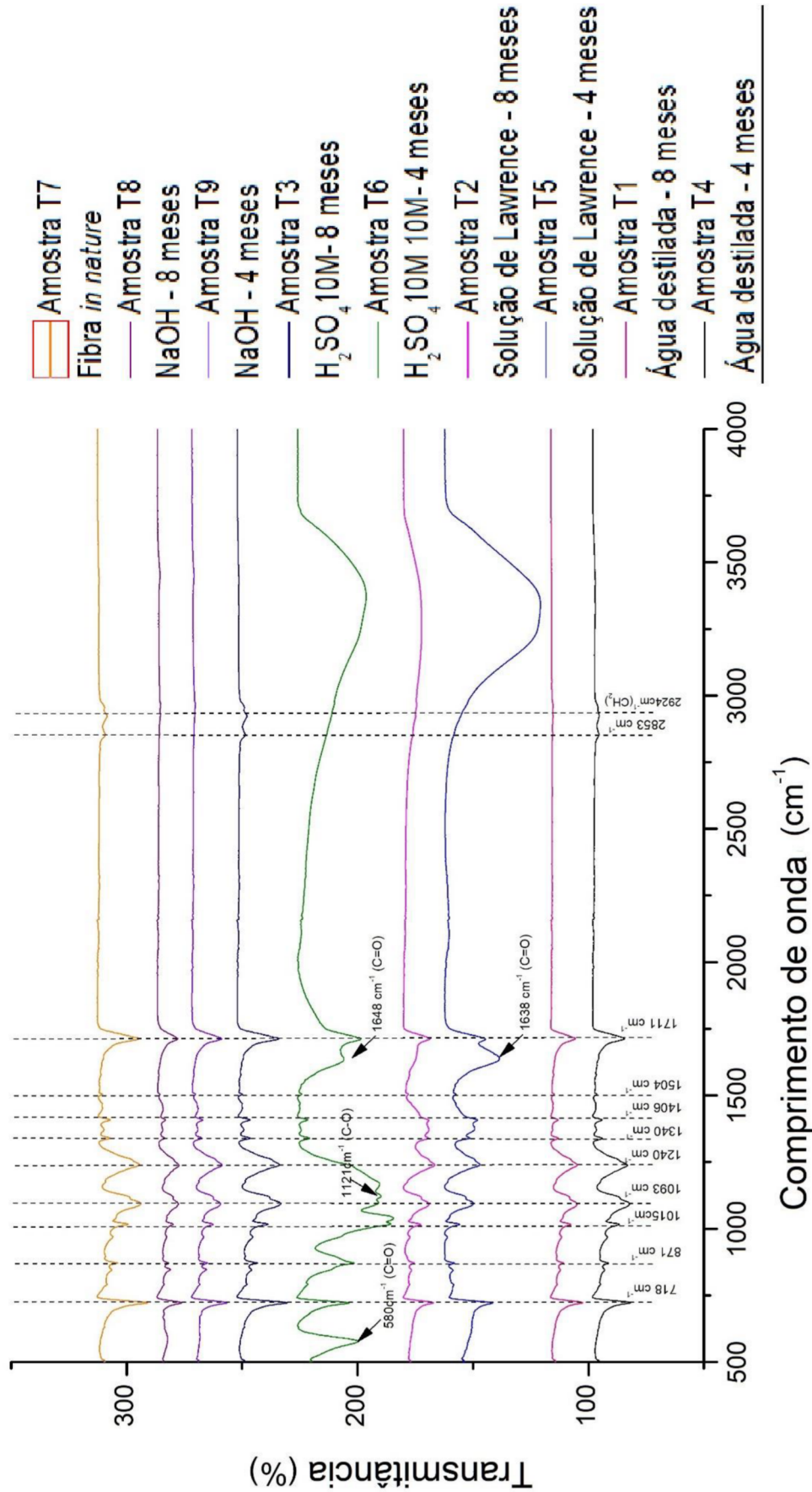


Figura 43 – Espectro de infravermelho das fibras submetidas a presença de soluções alcalinas e ácidas
 Fonte: Autor (2021).

Supreendentemente, para exposição da fibra por período total de 8 meses o perfil do espectro de transmitância por FTIR é idêntico a amostras controle T4 e T8 de água destilada e T7- Fibra *in nature*. Esse comportamento suscita a hipótese de que a solução ácida em primeiro momento coroe a superfície da fibra, consumindo todo material orgânico das ligações de carbono e, assim, deformando a cadeia de poliéster. Este processo, gera subprodutos inertes ao agente corrosivo que podem ser dispersos sobre a superfície da fibra, protegendo-a da ação continuada do agente corrosivo. Estes subprodutos podem ser evidenciados por pequenos precipitados no fundo das amostras avaliadas, conforme a Figura 36. Todavia, ainda é preciso realizar estudos futuros de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para avaliar o nível de degradação por corrosão superficial das fibras e formação de seus subprodutos.



Figura 44 – Fibra a base de poliéster submetida a locução de Lawrence, por 8 meses
Fonte: Autor (2021).

A assinatura do elastano, região do espectro compreendida entre 2700 cm^{-1} e 3300 cm^{-1} , foi totalmente suprimida nas amostras de fibras expostas por 4 meses a solução de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4 , 10 mol.L^{-1}) e solução de Lawrence, conforme observado na Figura 44, ou seja, o elastano sofreu total degradação quando exposto a essas soluções. Em contraponto, o poliéster desempenhou um comportamento mais estável, uma vez que a assinatura dos modos vibracionais relacionados aos grupos de poliéster permaneceu nas amostras de fibras submetidas mesmo após 8 meses nas soluções de maior potencial de corrosão e degradação. Isso sugere que a durabilidade da fibra objeto deste trabalho está atrelada a quantidade de poliéster na mesma. Neste concerne, esse resultado revela que a fibra a base de poliéster, mesmo sofrendo deformações da cadeia manométrica, apresentará excelente durabilidade quando inserida em matrizes cimentícias de argamassas e concretos.

Portanto, considerando todos os resultados aqui apresentados é proposto uma teoria unificada da relação entre a fibra e a argamassa. Essa teoria unificada é estruturada nos seguintes pontos centrais: I) Por apresentar excelente durabilidade a meios eletrolíticos agressivos da matriz cimentícia, as fibras a base de poliéster são boas candidatas a realizarem duradouras pontes de transferência de tensão nos interstícios dos poros das argamassas; II) Entretanto, a dureza superficial das argamassas é impactada por adição de quantidades-mor das fibras no traço, quanto maior o percentual de fibras na matriz, a argamassa desempenhará valores inferiores de dureza superficial; III) Isto afeta o estado fissurado, que apresenta perfil de propagação de fissuras mais frágil, com aberturas mais proeminentes em amostras dotadas de maior quantidade de fibras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que as adições de 0,075% e 0,10% de fibras a base de poliéster, provenientes do processo de trefilagem do jeans da indústria têxtil Sergitex, situada no município de Estância, em argamassa cimentícia, apresentaram viabilidade técnica quanto a sua aplicação como reforço em traços de argamassas, restringindo a abertura e propagação de fissuras na matriz fissurada.

Não foi observado o aparecimento de fissuras nos traços de argamassa padrão e com adições de fibras, por meio das análises quanto ao aparecimento de fissuras por retração plástica nas primeiras horas 4, 6, 8 e 12 horas e tão pouco fissuras relacionadas à movimentações higrotérmicas com 3, 7 e 14 dias. Conforme discutido, o que pode ter influenciado para a não ocorrência dessas fissuras foi a baixa restrição do substrato à retração da argamassa aplicada como revestimento horizontal.

Com base nos resultados do ensaio de impacto de corpo duro, pode-se concluir que a adição de fibras nas amostras de argamassa diminui qualitativamente e quantitativamente a incidência de abertura e de propagação de fissuras nas argamassas ensaiadas. No qual, foi verificado que, com a incorporação de 0,075% de fibras a base de poliéster o traço AF75 apresentou um menor perfil de fissuramento e abertura de fissuras, quando comparado com o traço padrão e AF100. Enquanto que a quantidade de fibras próximas a 0,10% torna as amostras ensaiadas mais frágeis e suscetíveis a fissuras extensas e de maior calibre, mapeadas quando comparadas ao traço com 0,075% de fibras.

Neste concerne, conforme aumentou-se a porcentagem de fibras, ocorreu uma diminuição nos índices esclerométricos médio, consequentemente uma diminuição da resistência superficial das argamassas reforçadas com 0,10% de fibras. Evidenciando, dessa forma, a existência de um ponto de saturação da quantidade de fibras no traço.

A partir do ensaio de degradação das fibras à base de poliéster e análises por Espectroscopia no Infravermelho, foi possível caracterizar quimicamente a fibra composta em sua grande maioria por poliéster. Corroborando com a informação repassada pela fábrica têxtil Sergitex, onde 92% da fibra proveniente do processo de trefilagem do jeans, é de poliéster e 8% de elastano.

Já em relação as análises quanto a degradação das fibras à base de poliéster em soluções alcalinas e ácidas, foi observado que o elastano sofreu total degradação quando expostas as soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 10 mol.L⁻¹) e solução de Lawrence, e que o poliéster permaneceu nas amostras, submetidas as soluções de maior potencial de corrosão e degradação

mesmo após 8 meses. Isso sugere que a durabilidade das fibras provenientes do resíduo têxtil, está atrelada a quantidade de poliéster na mesma e que a fibra a base de poliéster, mesmo sofrendo deformações da cadeia manométrica, apresentará excelente durabilidade quando inseridas em matrizes cimentícias de argamassas.

Portanto, as fibras à base de poliéster provenientes de rebarbas da confecção do jeans, podem ser uma alternativa viável na confecção de argamassas com fibras, uma vez que, estas apresentam excelente durabilidade, podendo também, contribuir com a redução dos impactos ambientais ocasionados pelo descarte inadequado desse tipo de resíduos, além de diminuir a quantidade de consumo de fibras novas como material de reforço em argamassas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Moldar corpo de prova cilíndrico com adição de fibras à base de poliéster para avaliar a resistência e a compressão axial das argamassas reforçadas;
- Fazer uma microanálise química por dispersão de energia Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) para verificar o comportamento na estrutura interna das argamassas com a adição de fibra à base de poliéster;
- Avaliar quimicamente os subprodutos, formados nas reações das fibras imersas em soluções agressivas, por meio de precipitados;
- Analisar a durabilidade das fibras à base de poliéster por MEV para amostras imersas em soluções agressivas, simulando característica do interior de materiais cimentícios;
- Avaliar a influência na fissuração provocada pela retração livre e restringida, nas argamassas com adição de fibras à base de poliéster.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI- 544.1R-96: Report on fiber reinforced concrete, Committee 544**. Farmington Hills: ACI, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Indústria Têxtil e da Confecção**. São Paulo. 2013. 44 p. Disponível em: <<http://abit-files.abit.org.br/site/publicacoes/cartilha.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2002. 104 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de parede e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13749**: Argamassa para assentamento e revestimento de parede e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15805**: Piso elevado de placa de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 7584**: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

BACHI, Karina. Fissuras na Parede do Residencial Mundo Plaza: Estudo de Caso. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UCSal- Como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil. Universidade Católica do Salvador, 2013.

BALOEVIC, Goran et al. Comportamento de compósitos de argamassa reforçada com fibras sob carga de impacto. **Latin American Journal of Solids and Structures**. 11. ed. v. 15. n. 2. Rio de Janeiro, 2018. 13 p.

BASTOS, Pedro K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

BENTUR, Arnon; MINDESS, Sidney. **Fiber reinforced cementitious composites**. 2. ed. Nova Iorque: Taylor & Francis, 2005, 474 p.

BETIOLI, A. M.; SILVA D. A. Evaluation of durability of PET fibers under diverse aggressive environments. **10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components**, Lyon, (França). Apr. 2005.

BETIOLI, Andrea M. **Degradação de fibras de PET em materiais à base de cimento Portland**. 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

BORGES, Ana Paula S. N. **Estudo das propriedades de Concretos com adição de Fibra Vegetais e de Polipropileno Para Uso em Paredes Estruturais**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017.

BRAGA, Natália M. T. **Patologias nas Construções: trincas e fissuras em edifícios**. 2010. 94 f. Monografia (Pós-Graduação) – Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

BRIGA-SÁ, Ana et al. Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. **Construction and Building Materials**. v. 38. 2013. 6 p.

BRITES, Mariana de Melo, et al. Poliéster de alta tecnologia: na fabricação de roupas esportivas. Anais de 2010. Disponível em: < <https://bv.fapesp.br/pt/instituicao/2505/associacao-brasileira-de-estudos-e-pesquisas-em-moda-abepem/>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharias de materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017, 1696 p.

CASOTTI, Denis Eduardo. Causas e Recuperação de Fissuras em Alvenaria. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, Itatiba. 2007.

CORTIZAS, Antonio Martínez, COSTAS, Olalla López. Linking structural and compositional changes in archaeological human bone collagen: an FTIR-ATR approach. **Scientific Reports**. V. 10. Article number: 17888 (2020).

DOMONE, Peter; ILLSTON, John. **Construction materials: their nature and behaviour**. 4. ed. New York: Spon Press, 2010.

DOPKO, Michael. **Fiber Reinforced Concrete: Tailoring composite properties with discrete fibers**. 2018. 178 f. Tese (Mestrado) – Programa de Comitê de Estudo, Universidade Estadual de Iowa. Ames, 2018.

El-Saftawy, et al. Electron beam induced surface modifications of PET film. **Radiation Physics and Chemistry**. v. 102. 96–102. 2014.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SERGIPE (FIES). **Cadastro Industrial**. Sergipe. 2012. Disponível em: < <http://www.fies.org.br/servicos/cadastro-industrial>>. Acesso em: 18 out. 2020

FERREIRA, G. H. **Fissuras em Edificações de Concreto Armado: revisão e estudo de caso**. 2020. 82 f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

FIGUEIREDO, A. D. d. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 256 f. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, L. F. d. S. **Controle da Resistência à Compressão do Concreto pelo Ensaio Esclerométrico**. 2018. 82 f. Trabalho de Conclusão de curso – Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

GOLFETTO, Janaine Maria, et al. Estudo experimental da influência da adição de microfibras de polipropileno e da cura na dureza superficial de pisos de concreto. *Revista Matéria* volume 24. 2019. 7 f.

GRANATO, Jose Eduardo; POLIDORO, Gustavo. Reforço secundário de proteção mecânica sobre impermeabilização utilizando macrofibra sintética. São Paulo. 2013. Disponível em: < <http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2013/08/8-748.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

HANNANT, D. J. **Cement-based Composites**: Comprehensive Composite Materials, University of Surrey, Guildford, UK, 2000. 40 p.

KAMMLER, Henrique et al. Fissuras e trincas na engenharia civil. **IV Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG**. Caxias do Sul, 2016. 3 p.

KUASNE, Angela. **Fibras têxteis**. 2. ed. Araranguá Santa Catarina: CEFET/SC, 2008.

LIMA, Camila Nilma. **Otimização do processo de tingimento da fibra de poliéster utilizando cumarina como carrier**. 2020. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2020.

LOPES, Léa. Polímeros na indústria têxtil: A invenção da Lycra, comemorando 50 anos. 2009. Disponível em: < <https://www.yumpu.com/pt/document/read/12825189/polimeros-na-industria-textil-ima>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

MARANGON, Ederli. **Aspectos do comportamento e da degradação de matrizes de concreto de cimento Portland reforçados com fibras provenientes da reciclagem de garrafas PET**. 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Arte Interativa, 2008.

MENDONÇA, Arlan do Carmo, **Incorporação do resíduo grits na produção de argamassa para uso na construção civil**. 2018. 148 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2018.

MENEGUCCI, Franciele et al. Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção **XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2015. 12 p.

MINARI JÚNIOR, Pedro P. **Adição de fibra de vidro e polipropileno em argamassas de revestimento**. 2018. 104 f. Relatório Final da Unidade Curricular de Trabalho (Mestrado) – Ramo de Construções, Instituto Superior de Engenharia do Porto. Portugal, 2018.

NUNES, Nelson Lúcio. **Contribuição para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em elementos de superfície restringidos**. 2006. 276 f. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

NUNES, Nelson Lúcio; FIGUEIREDO, Antonio Domingues. **Retração do concreto de cimento Portland**. 2007. 59 f. Boletim Técnico – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PANTIAN. Disponível em: < <http://www.china-pantian.com/en/index.php>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

PEETS, Pilleriin, et al. Identification and classification of textile fibres using ATR-FT-IR spectroscopy with chemometric methods. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**. v. 173. 2017. 20 p.

PEIXOTO, A. et al. Argamassa de reboco reforçada com resíduos da indústria têxtil do tipo fio. **Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção (APFAC)**. Minho, 2012, 11 p.

PELISSER, Fernando. **Avaliação do desempenho de concreto reforçado com fibras de polietileno tereftalato (PET)**. 2002. 92 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

PEREIRA, Claudio H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 2007. 217 f. Tese (Doutorado) – Programa de Doutorado em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2007.

PEREIRA, Eric V. **Influência de Fibras de Aço no Comportamento Mecânico e nos Mecanismos de Fissuração de Concretos Autoadensáveis**. 2017. 170 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

PINHEIRO, Julieli Dias; ANTUNES, Elaine GuglielmiPavei; VARGAS, Alexandre. Avaliação experimental da adição de fibra sintética proveniente de resíduo da indústria de confecção na argamassa de revestimento. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC - Como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2018.

PINTO, J. et al. Render reinforced with textile threads. **Construction and Building Materials**. v. 40. 2013. 17 p.

PLIZZARI, G. MINDESS, S, Fiber-reinforced concrete. **Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)**. ed. S. Mindess. Canadá, jul. 2019. 31 p.

QUININO, U. C. de M. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras**. 2015. 243 f. Dissertação (Doutorado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2015.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. 189 p.

RIBEIRO, Emerson; VOLKWEIS, Fabiano José. Patologias em fachadas externas devido a movimentações higrotérmicas. **Revista Tecnológica**, v. 5, n. 2, dez. 2016. 12 p.

ROMERO, Luiz. L. et al. **Fibras artificiais e sintéticas**. Relato Setorial. Rio de Janeiro: BNDES, jun. 1995. 13 p.

ROSTAMI, Rouhollah et al. A review on performance of polyester fibers in alkaline and cementitious composites environments. **Construction and Building Materials**, v. 21, Apr. 2020. 15 p.

SALES, Angela T. C. **Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu**. 2006. 273 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

SANTANA, Flávio Oliveira. **Desenvolvimento de molde para confecção de placas de concreto com aplicação em pavimentos industrial**. 2020. 66 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Sergipe, Estância. 20.

SILVA JUNIOR, Antônio William da, et al. Avaliação do Fio de Poliéster Reciclado do Plástico Pet como Fibra em Argamassa. **X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. 2013. 11 p.

SILVA NETO, João Trajano. **Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de alta resistência mecânica**. 2018. 147 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDMATE, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2018.

SILVA, Geovane Zumas de Abreu, et al. Avaliação das propriedades do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos reciclados de polietileno tereftalato (PET). 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Universidade Paranaense, Umuarama. 2017.

SILVA, Narciso G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica**. 2011. 329 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

SILVA, Rosiany P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno: estudo do comportamento reológico e mecânico**. 2006. 191 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SIQUEIRA, José Eduardo Lobato, **Utilização de fibras naturais e sintéticas em argamassa de revestimento de alvenaria: Estudo comparativo de desempenho**. 2006. 217 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SISTEMA MODA ITALIA. Sostenibilità nell'industria Tessile-Abbigliamento-Moda (Sustainability in the Textile-Clothing-Fashion Industry) (2). São Paulo. 2016. Disponível em: < <https://www.sistemamodaitalia.com/it/sostenibilita>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

WANG, Youjiang et al. An experimental study of synthetic fibre reinforced cementitious composites. **Journal of Materials Science**, Cambridge (MA), v. 22, dez. 1987. 11 p.

ZHENG, Zhihong; FELDMAN, Dorel. Synthetic fibre-reinforced concrete. **Progress in Polymer Science**, Montreal (CA), v. 20, ed. 2, 1995. 26 p.

ANEXO 1 – Resultado dos ensaios de corpo duro

Traço Padrão	ENERGIA DE IMPACTO (6,72 J)							
	Local de impacto	Nº do CP	Dimensões (cm)	Mossas	Fissuras (mm)	Trincas (mm)	Rach. (mm)	Rup.
	Centro	1	40 x 39,7 x 3	x	0,3			
		2	40 x 41 x 3	x				
	Eixo de uma das bordas	3	40,5 x 40 x 3					x
		4	39,5 x 40 x 3					x
	No canto	5	39,5 x 40,5 x 3	x	0,2; 0,15; 0,1			
		6	40 x 40 x 3	x				
	ENERGIA DE IMPACTO (10,56 J)							
	Local de impacto	Nº do CP	Dimensões (cm)	Mossas	Fissuras (mm)	Trincas (mm)	Rach. (mm)	Rup.
	Centro	7	40 x 39,5 x 3					x
		8	40 x 40,5 x 3					x
Traço AF75	ENERGIA DE IMPACTO (6,72 J)							
	Local de impacto	Nº do CP	Dimensões (cm)	Mossas	Fissuras (mm)	Trincas (mm)	Rach. (mm)	Rup.
	Centro	9	40 x 40 x 3	x	0,05			
		10	40,3 x 40 x 3	x	0,35; 0,2			
	Eixo de uma das bordas	11	40 x 40,5 x 3	x	0,25			
		12	40 x 39,5 x 3	x		0,8	1,6	
	No canto	13	41 x 40,3 x 3	x	0,25			
		14	40 x 41 x 3	x	0,05			
	ENERGIA DE IMPACTO (10,56 J)							
	Local de impacto	Nº do CP	Dimensões do corpo de prova (cm)	Mossas	Fissuras (mm)	Trincas (mm)	Rach. (mm)	Rup.
	Centro	15	39,6 x 40 x 3					x
		16	40 x 39 x 3	x	0,25	0,7		
Traço AF100	ENERGIA DE IMPACTO (6,72 J)							
	Local de impacto	Nº do CP	Dimensões (cm)	Mossas	Fissuras (mm)	Trincas (mm)	Rach. (mm)	Rup.
	Centro	17	40 x 40 x 3					x
		18	40 x 40,5 x 3	x	0,20; 0,25			
	Eixo de uma das bordas	19	40,5 x 39,5 x 3	x	0,1			
		20	40 x 40 x 3	x	0,05			
	No canto	21	39,5 x 40 x 3	x	0,35	0,75		
		22	40 x 40 x 3	x	0,05			
	ENERGIA DE IMPACTO (10,56 J)							
	Local de impacto	Nº do CP	Dimensões (cm)	Mossas	Fissuras (mm)	Trincas (mm)	Rach. (mm)	Rup.
	Centro	23	40,5 x 40 x 3					x
		24	41 x 40 x 3					x