

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MAIRA JANAINA OTT**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E DA DURABILIDADE DE MATRIZ  
DE CONCRETO TÊXTIL ATRAVÉS DE ENSAIOS**

**São Leopoldo**  
**2018**

MAIRA JANAINA OTT

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E DA DURABILIDADE DE MATRIZ  
DE CONCRETO TÊXTIL ATRAVÉS DE ENSAIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil, pelo Curso de  
Engenharia Civil da Universidade do Vale  
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Msc. Fernanda Pacheco

São Leopoldo  
2018

Dedico este trabalho ao meu irmão Charles (*in memoriam*), e aos meus pais, Renita e João, que não mediram esforços e sempre me apoiaram na busca pelos meus sonhos e objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por guiar meus passos ao longo da caminhada acadêmica e deste estudo.

Agradeço imensamente aos meus pais Renita e João, que nunca mediram esforços para me apoiar e que sempre acreditaram e incentivaram a minha educação. Pela confiança, amor e paciência e por compreenderem as minhas ausências durante a elaboração desta pesquisa.

A minha avó Ilka, por todo carinho e apoio aos meus estudos.

A minha professora Fernanda Pacheco, pela orientação, incentivo e dedicação com esta pesquisa.

Ao Vinicius Ortolan e Pedro Leuck, pela cooperação, colaboração e apoio.

Ao Instituto itt Performance e ao professor Bernardo Tutikian, por disponibilizar a estrutura para que esta pesquisa pudesse acontecer.

Aos meus colegas e amigos do itt Performance: Bruna, Nataly, Maria Luiza, Gian, Cristine, Lucas F., Lucas L., Gabriela e Rafael, pelo auxílio nas moldagens, execução de ensaios e auxílio em tarefas essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Itt Fuse, em especial ao professor Lionel, ao Leandro e à Clarissa, pela disponibilidade e profissionalismo em me ajudar.

Ao laboratório de mecânica da Unisinos, em especial ao Éder, por todo o auxílio nos ensaios.

Ao laboratório de materiais de construção civil, em especial ao Andre, Geremias, Igor e Leonardo, pelo apoio e suporte técnico.

A empresa Texiglass, por viabilizar este estudo através da doação do reforço têxtil.

A todos que de alguma forma participaram da realização deste trabalho e acreditaram no sucesso desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos os amigos pela paciência com a minha ausência e por permanecerem ao meu lado durante este trabalho e ao longo da minha vida, contribuindo para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

“Quem deseja ver o arco-íris, precisa aprender a gostar da chuva.”  
(Paulo Coelho).

## RESUMO

A ciência do concreto permitiu avanços, visando atingir propriedades específicas e com destaque, maior durabilidade dos materiais. Considerando que a corrosão da armadura é um dos danos patológicos de ocorrência mais frequente, um dos novos materiais que surge no Brasil é o concreto têxtil (CT), compósito que já vem sendo utilizado com sucesso em diversos países. Dentre as principais características deste compósito, pode-se citar a sua alta resistência à tração, leveza, versatilidade de formas, agilidade de produção e durabilidade. Contudo, ainda existem lacunas de conhecimento deste material, como o comportamento da interface entre a matriz e o reforço têxtil e o comportamento deste compósito frente a situações de agressividade. Desta forma, o objetivo deste estudo, é avaliar o comportamento de durabilidade do CT sujeito às cargas de tração na flexão. Para o programa experimental, foram moldados corpos de prova de 360 x 100 x 12 mm, os quais foram armazenados em três diferentes condições de exposição: cura úmida, solução de sulfatos e água quente à 50°C. A matriz cimentícia foi composta por cimento, sílica ativa, agregado miúdo, aditivo superplastificante, água e foi utilizado têxtil de fibra de vidro álcali resistente com abertura de 50 mm como reforço, sendo utilizadas duas camadas deste no compósito. Para a caracterização do comportamento mecânico do compósito, foi realizado o ensaio de tração na flexão e após, as regiões rompidas foram analisadas em microscópio digital para avaliação da interface fibra-matriz e geometria de ruptura das fibras. Por fim, foi realizado ensaio de Raios-X, para verificar a disposição das malhas dentro da matriz. Os resultados obtidos para os ensaios de tração na flexão mostraram que as amostras armazenadas em água quente perderam significativa resistência com o passar do tempo. As amostras armazenadas em sulfato e em cura úmida apresentaram similaridade, comprovando que uma matriz com baixa relação água/aglomerante garante a durabilidade do material frente aos ataques de sulfatos. Constatou-se que a interface fibra-matriz e a geometria de ruptura das fibras dependem da hidratação do concreto de cimento Portland, pois os produtos de hidratação formados nos vazios próximos às fibras tornam a região mais rígida e prejudicam o comportamento mecânico do compósito. Percebeu-se ainda, que o não alinhamento das malhas na matriz influencia prejudica o desempenho mecânico do composto.

Palavras-chave: Concreto Têxtil. Durabilidade. Resistência. Tração na flexão.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do CT .....	19
Figura 2 - Fachada com painéis de concreto têxtil na Holanda.....	22
Figura 3 - Fachada com painéis de concreto têxtil na Alemanha.....	22
Figura 4 - a) Painel sanduíche de CT, (b) Fachada construída com painel sanduíche de CT .....	23
Figura 5 - Passarelas feitas com CT na Alemanha .....	24
Figura 6 - Reforço em pilar de supermercado na Holanda.....	24
Figura 7 - (a) Imagem de móvel e (b) Cobertura com configuração maleável, ambos na Alemanha.....	25
Figura 8 - Tubulação de água e esgoto.....	26
Figura 9 - Procedimentos de adensamento e vibração dos concretos.....	28
Figura 10 - Tipos de fios.....	33
Figura 11 - Estruturas de tecidos de reforço para CT .....	34
Figura 12 - Têxteis tridimensionais.....	35
Figura 13 - Amostras analisadas de fibras de carbono, basalto e de vidro AR .....	36
Figura 14 - Composição do concreto têxtil: (a) Disposição da matriz e colocação da malha têxtil e (b) Processo de confecção de uma amostra de concreto têxtil. ....	37
Figura 15 - Métodos de fabricação de CT .....	38
Figura 16 - Ensaio de tração na flexão de quatro pontos.....	48
Figura 17 - Vista das juntas plásticas formadas durante o experimento .....	48
Figura 18 - Forma de ruptura da fibra no ensaio de tração na flexão.....	50
Figura 19 - Microestrutura de matriz de CT na idade inicial .....	51
Figura 20 - Microestrutura de matriz de CT após envelhecimento (56 dias à 65°C).....	51
Figura 21 - Amostra de CT envelhecida (28 dias a 65°C) .....	52
Figura 22 - Comparativo entre (a) Matriz referência e (b) Matriz após 120 dias em água quente à 50°C.....	52
Figura 23 - Amostra após 28 dias de envelhecimento acelerado a 50°C .....	53
Figura 24 - Comparativo entre (a) Matriz referência e (b) Matriz após 360 dias imersa em água quente à 40°C.....	53
Figura 25 - Etapas do programa experimental .....	54
Figura 26 - Etapa 1 do programa experimental .....	55
Figura 27 - Curva granulométrica da areia analisada.....	58

Figura 28 - Reforço têxtil de vidro AR utilizado no estudo.....	59
Figura 29 - Etapa 2 do programa experimental .....	61
Figura 30 - Etapas do preparo do concreto .....	62
Figura 31 - Passo a passo da confecção das amostras para os ensaios no CT .....	62
Figura 32 - Croqui do corpo de prova e de suas camadas.....	63
Figura 33 - Ensaio de índice de consistência .....	64
Figura 34 - Imagem da argamassa no estado fresco .....	65
Figura 35 - Etapa 3 do programa experimental .....	67
Figura 36 - Ilustração da montagem do ensaio .....	71
Figura 37 - Amostra sendo analisada no microscópio.....	72
Figura 38 - Equipamento de inspeção por Raio-X.....	72
Figura 39 - Imagem obtida da amostra CT-REF .....	76
Figura 40 - Imagens obtidas das amostras CT-AQ .....	76
Figura 41 - Imagens obtidas das amostras CT-SULF .....	77
Figura 42 - Amostra CT-REF.....	78
Figura 43 - Amostra CT-AQ.....	79
Figura 44- Amostra CT-SULF.....	79
Figura 45 - Disposição do têxtil nas amostras de CT-REF.....	80
Figura 46 - Disposição do têxtil nas amostras de CT-AQ.....	80
Figura 47 - Disposição do têxtil nas amostras de CT-SULF.....	81
Figura 48 - Comparativo das resistências de tração na flexão das amostras analisadas, por condição de armazenamento. ....	82
Figura 49 - Comparativo das resistências de tração na flexão das amostras analisadas, por idade. ....	83

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Consumo de cimento no CT.....	28
Tabela 2 - Composição da matriz cimentícia, em massa kg por m <sup>3</sup> de concreto .....	30
Tabela 3 - Resultados de ensaios de resistência à flexão .....	42
Tabela 4 - Principais métodos de análise de CT .....	45
Tabela 5 - Resultado do ensaio de massa específica .....	57
Tabela 6 - Resultados do ensaio de composição granulométrica .....	57
Tabela 7 - Características do reforço têxtil.....	59
Tabela 8 - Resultado do ensaio de tração no reforço têxtil .....	60
Tabela 9 - Composição do traço em kg/m <sup>3</sup> .....	60
Tabela 10 - Quantidade e dimensões dos corpos de prova de CT .....	64
Tabela 11- Resultado do índice de consistência da argamassa .....	65
Tabela 12 - Resultado do ensaio de compressão axial.....	66
Tabela 13 - Armazenamento das amostras em câmara úmida .....	68
Tabela 14 - Armazenamento das amostras em solução de sulfato .....	69
Tabela 15 - Armazenamento das amostras em água quente.....	70
Tabela 16 - Resultados do ensaio de tração na flexão das amostras de CT-REF ....	73
Tabela 17 - Resultados do ensaio de tração na flexão das amostras de CT-AQ .....	74
Tabela 18 - Resultados do ensaio de tração na flexão das amostras de CT-SULF ..	75

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQ	Água quente
AR	Álcali-resistente
a/c	Água/cimento
a.C.	Anos antes de Cristo
ČSN	<i>Česká Technická Norma</i>
CT	Concreto têxtil
CRT	Concreto reforçado têxtil
DFG	<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>
EN	<i>European Norm</i>
EPS	Poliestireno expandido
FIHP	<i>Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado</i>
GRC	<i>Glass Reinforced Concrete</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
pH	Potencial Hidrogeniônico
PU	Poliuretano
REF	Referência
RILEM	<i>Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux e les Constructions</i>
RTWH	<i>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule</i>
SULF	Sulfato
TRC	<i>Textile reinforced concrete</i>
TU	<i>Technische Universität</i>
UR	Umidade relativa
vs	<i>Versus</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

Nº	Número
°C	Graus Celsius
mm	Milímetro
g/m <sup>2</sup>	Grama por m <sup>2</sup>
cm	Centímetro
%	Por cento
mm/min	Milímetro por minuto
mg	Miligramma
SO <sub>4</sub> /l	Sulfato por litro
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
g/cm <sup>3</sup>	Grama por centímetro cúbico
N	Newton
kN	Quilonewton
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
SO <sub>4</sub>	Sulfato
m	Metro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
kg	Quilograma
kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Quilograma de CO <sub>2</sub> por metro cúbico
MJ/m <sup>3</sup>	Megajoule por metro cúbico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 TEMA .....	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3 OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
1.4 JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2 CONCRETO TÊXTIL</b> .....	<b>19</b>
2.1 HISTÓRICO E APLICAÇÕES .....	20
<b>2.1.1 Histórico de pesquisas</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.2 Aplicações</b> .....	<b>21</b>
2.1.2.1 Fachadas leves .....	22
2.1.2.2 Painéis sanduíche .....	22
2.1.2.3 Passarelas.....	23
2.1.2.4 Reforço estrutural .....	24
2.1.2.5 Móveis e estruturas de configuração maleável .....	25
2.1.2.6 Tubos de água e esgoto, barreiras e decantadores .....	25
2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES .....	26
<b>2.2.1 Matriz</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.2 Reforço têxtil</b> .....	<b>31</b>
2.3 DOSAGEM E PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....	36
2.4 PROPRIEDADES DO CT .....	38
<b>2.4.1 Durabilidade</b> .....	<b>40</b>
2.4.1.1 Alcalinidade da matriz .....	41
<b>2.4.2 Resistência à flexão</b> .....	<b>42</b>
<b>2.4.3 Aspectos sustentáveis</b> .....	<b>43</b>
2.5 ENSAIOS E DIAGNÓSTICOS.....	44
<b>2.4.1 Ensaios durabilidade</b> .....	<b>45</b>
2.4.1.1 Ataque químico por sulfatos .....	45
2.4.1.2 Envelhecimento por imersão em água quente .....	46
<b>2.4.2 Ensaios mecânicos</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4.3 Análises microscópicas</b> .....	<b>49</b>

	12
2.3.4.1 Geometria de ruptura e superfície da fibra .....	49
2.3.4.2 Interface entre matriz e fibra.....	50
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>54</b>
3.1 ETAPA 1.....	54
<b>3.1.1 Escolha e caracterização dos materiais.....</b>	<b>55</b>
3.1.1.1 Cimento .....	55
3.1.1.2 Aglomerante .....	56
3.1.1.3 Agregado.....	56
3.1.1.3.1 <i>Massa unitária</i> .....	56
3.1.1.3.2 <i>Massa específica</i> .....	56
3.1.1.3.3 <i>Composição granulométrica</i> .....	57
3.1.1.4 Água.....	58
3.1.1.5 Aditivo.....	58
3.1.1.6 Reforço têxtil .....	58
<b>3.1.2 Definição do traço .....</b>	<b>60</b>
3.2 ETAPA 2.....	61
<b>3.2.1 Moldagem dos corpos de prova .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.2 Caracterização da matriz cimentícia.....</b>	<b>64</b>
3.2.2.1 Estado fresco .....	64
3.2.2.2 Estado endurecido.....	65
3.3 ETAPA 3.....	66
<b>3.3.1 Condições de armazenamento.....</b>	<b>67</b>
3.3.1.1 Cura úmida.....	67
3.3.1.2 Solução de sulfatos .....	68
3.3.1.3 Armazenamento em água quente .....	69
<b>3.3.2 Ensaio no compósito .....</b>	<b>70</b>
3.3.2.1 Tração na flexão.....	70
3.3.2.2 Análise da interface entre a matriz e a malha e geometria de ruptura da fibra utilizando microscópio .....	71
3.3.2.3 Análise da disposição do reforço têxtil dentro da matriz cimentícia .....	72
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
4.1 TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	73
<b>4.1.1 Concreto referência (CT-REF).....</b>	<b>73</b>
<b>4.1.2 Concreto armazenado em água quente (CT-AQ).....</b>	<b>74</b>

<b>4.1.3 Concreto armazenado em solução de sulfato (CT-SULF)</b> .....	<b>74</b>
<b>4.2 ANÁLISE MICROSCÓPICA</b> .....	<b>75</b>
<b>4.2.1 Análise da interface matriz cimentícia e reforço têxtil</b> .....	<b>75</b>
<b>4.2.2 Análise da geometria de ruptura do reforço têxtil</b> .....	<b>78</b>
<b>4.2.3 Análise da disposição do reforço têxtil no interior da matriz cimentícia</b> ..	<b>80</b>
<b>4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>82</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>84</b>
<b>5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA

Os materiais cimentícios, como o concreto simples, sem armadura de aço, apresentam alta resistência à compressão, porém comportamento frágil, decorrente de uma baixa resistência à tração, além de uma reduzida capacidade de deformação, ou seja, comportamento não dúctil. Devido a estes motivos, conta-se com o auxílio de barras de aço, compondo um material compósito de comportamento dúctil e de alta resistência à tração, o concreto armado convencional. (MEHTA; MONTEIRO, 2014; ORTOLAN et al., 2017).

Como explicam Andrade e Perdrix (1992), o concreto proporciona proteção ao aço contra a corrosão, desde que não esteja carbonatado e / ou contaminado com a presença de íons cloreto. Tais agentes são responsáveis pela proteção das armaduras de aço, sendo esta função exercida pela camada de cobrimento, definida conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Para tal, é necessária uma combinação entre qualidade do concreto e espessura necessária. O fato de que o aço poderá corroer após certo tempo é uma desvantagem desta composição, sendo um dos danos patológicos mais frequentes. (HELENE, 1986). Em casos extremos, a corrosão da armadura leva ao deslocamento do concreto próximo às armaduras e reduz a durabilidade da estrutura, conduzindo a possíveis falhas estruturais. (DE SOUZA; RIPPER, 1998).

Além disso, o compósito citado se torna inviável em certas ocasiões, especialmente quando os elementos estruturais são de pequenas espessuras, por demandar cobrimento mínimo de proteção à corrosão. Nestas circunstâncias, os materiais não corrosíveis como reforço possuem vantagem. Além da redução da espessura, tem-se como consequência a redução da massa específica, e conseqüentemente da carga dos elementos estruturais, otimizando a estrutura e facilitando a manipulação de peças, quando pré-fabricadas. (REGÁS; BOLAÑOS, 2007).

Neste contexto, vem surgindo no mercado novos materiais e novos compósitos, como é o caso do concreto reforçado com têxtil, ou simplesmente concreto têxtil (CT), ou como é comumente encontrado na bibliografia internacional, *Textile Reinforced Concrete (TRC)*. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017;

BOURNAS, 2016). Neste trabalho, chamou-se de concreto têxtil toda matriz de cimento, composta de materiais granulométricos finos, reforçada com uma ou mais camadas de reforços têxteis. Os reforços foram chamados de: reforço, reforço têxtil, tecido, têxtil, malha ou malha têxtil.

O CT é um material compósito constituído por tecido de filamentos de alto desempenho de fibra de vidro álcali-resistentes (chamadas de fibras de vidro AR), polímero ou carbono e uma matriz de concreto fino. (BUTLER; MECHTCHERINE; HEMPEL, 2009). Apesar de a matriz ser uma argamassa, devido às suas propriedades de alto desempenho em muitos aspectos, ela tem sido caracterizada como um concreto de grão fino, normalmente com tamanho máximo de grão menor que 2 milímetros. (PETRE; ZAPALOWICZ, 2012).

Ao invés de usar fibras e/ou reforço unidimensional, este compósito faz uso de tecidos planos ou mesmo tridimensionais. Estes tecidos são produzidos através de modernas máquinas de tecelagem que permitem uma grande variedade de técnicas de tecelagem, tricô, costura e *brading*. (REINHARDT; KRÜGER; GROSSE, 2003).

O CT é resistente à corrosão, não magnético, leve (possibilita estruturas finas) e com excelentes propriedades mecânicas (alta resistência à tração e comportamento pseudo-dúctil). Tem muitas aplicações possíveis, tanto em estruturas novas como antigas, bem como no fortalecimento e reparo de elementos estruturais de concreto armado ou outros materiais tradicionais. (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006).

Pela inexistência de corrosão da armadura, é esperado um aumento na vida útil destas estruturas. Soma-se a isso a vantagem do CT não necessitar os tamanhos de cobrimentos aplicados no concreto armado, o que possibilita dimensões de estruturas reduzidas, diminuição de carga de peso próprio e no consumo de material para a produção. Isso reduz substancialmente os impactos ambientais e econômicos associados ao ciclo de vida deste material de construção. (DUTRA et al., 2017).

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O comportamento das propriedades do CT depende diretamente da matriz. Os reforços têxteis demandam propriedades reológicas especiais e tamanhos de

grãos máximos compatíveis às suas estruturas. Altas taxas de aglomerante são empregadas, bem como adições de finos, como cinza volante, sílica ativa e aditivos como superplastificantes e redutores de água. (VOSS; HEGGER, 2006).

Em termos do compósito em geral, cabe destacar que a capacidade de carga do CT é até seis vezes maior que a do concreto armado convencional. (KULAS et al., 2011).

As matrizes usadas para CT devem atender demandas especiais em relação ao processo de produção, propriedades mecânicas do compósito e durabilidade do material de reforço. As matrizes se apresentam densas e compactas, e por isso, se espera uma durabilidade satisfatória. (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006).

Uma parte importante das investigações para o concreto reforçado têxtil é a determinação do parâmetro de ligação do reforço têxtil com a matriz cimentícia. Já se sabe que diferentes condições de armazenamento - e ambientais - influenciaram o comportamento do vínculo. (KULISCH, 2011).

Portal et al. (2015) afirmam, em relação à durabilidade do CT, que durante seu uso, ou fase na qual deveria ser verificada a vida útil, que o CT pode enfrentar condições severas, tais como:

- Ambiente altamente alcalino da solução dos poros do concreto;
- Ciclos de carregamentos;
- Exposição a diferentes temperaturas e variação no teor de umidade;
- Carbonatação da envoltória de produção;
- Fadiga por exposição a ciclos de carregamento;
- Ambientes expostos à sulfatos.

Segundo os autores, todos os fatores listados podem ter potencial de dano no CT, pensando em seu comportamento mecânico e durável à longo prazo. Assim sendo, têm-se como um dos parâmetros de grande relevância a análise do dimensionamento da matriz, do têxtil, e o estudo do dano na interface entre os dois materiais.

Assim sendo, este estudo foca nas investigações acerca da durabilidade do compósito e da interação do reforço têxtil com a matriz cimentícia. E para avaliar estas condições de durabilidade, faz-se uso de ensaios de resistência à tração na flexão, tendo em vista esta é a propriedade mecânica mais relevante nos estudos de CT. É delineada a seguinte questão como o problema a ser sanado nesse estudo:

Qual a influência no comportamento mecânico de resistência à tração na flexão do CT, utilizando uma mesma matriz cimentícia e com um mesmo reforço têxtil, quando aplicadas condições de agressividade a este material?

### 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho dividem-se em objetivo geral e objetivos específicos.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar se há deterioração em condições aceleradas do concreto têxtil, que prejudique as propriedades mecânicas do compósito.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Analisar a interface entre a matriz e os reforços têxteis através de ensaios microscópicos, após o compósito ter sido submetido à situações de degradação.
- b. Verificar a geometria da ruptura dos reforços têxteis, com auxílio de microscópio.
- c. Verificar se há influência no comportamento mecânico da disposição dos reforços têxteis na matriz cimentícia, através do inspeção por Raios-X.
- d. Avaliar a propriedade mecânica do reforço têxtil.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

O crescimento da utilização do CT está associado ao seu bom desempenho em ambientes agressivos e à alta durabilidade devido ao uso de matrizes de fina granulometria e baixa porosidade, e também, ao avanço na área de desenvolvimento de materiais eficientes e sustentáveis, sem que sejam perdidos atributos de seu desempenho mecânico. (DUTRA et al., 2017).

O CT possui um enorme potencial em estruturas arquitetônicas das mais variadas formas, devido à alta capacidade de carregamento em elementos esbeltos e a elaboração de elementos maleáveis devido à inerente maleabilidade do têxtil em comparação ao reforço de aço. (DENARDI, 2016).

Por se tratar de um material relativamente novo, carece de estudos. De acordo com Denardi (2016), assim como ocorreu com o concreto armado convencional, o CT ganhará importância e notoriedade a partir do momento em que novos desenvolvimentos e aperfeiçoamentos - no sentido de produção e de projeto adaptado ao compósito - forem acontecendo, contando com a participação concomitante de instituições de pesquisa, da indústria, de órgãos de normalização e do usuário final.

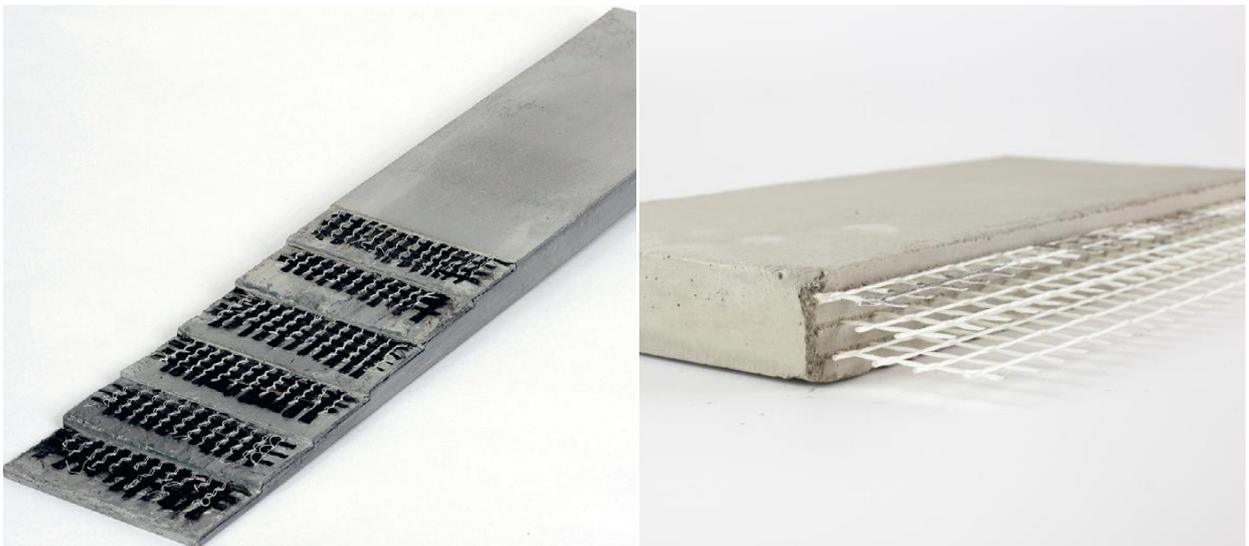
O conhecimento de suas propriedades é fundamental para transformar o CT em uma alternativa viável técnica e economicamente, eficiente e ecológica para ser inserida no mercado brasileiro. As pesquisas sobre o CT no Brasil ainda são escassas e se carece de testes nos reforços têxteis nacionais, análise de sua interação com a matriz cimentícia e estudo da durabilidade do compósito, para assim, surgirem aplicações do compósito no país.

A motivação para este estudo está no fato deste compósito já ser utilizado em diferentes estruturas em outros países e não ser difundido no Brasil. Com o intuito de utilizar somente matéria-prima brasileira, o material foi caracterizado quanto às propriedades mecânicas, comparando os resultados obtidos com bibliografia estrangeira e fornecendo dados sobre seu comportamento mecânico e durabilidade.

## 2 CONCRETO TÊXTIL

O termo concreto reforçado têxtil foi introduzido pela primeira vez no final dos anos 80 (NAAMAN, 2010), para se referir ao composto formado pela presença de uma matriz com reforço de malha têxtil, conforme apresenta a Figura 1. Desde então, o compósito foi sendo estudado, se mostrando um produto vantajoso. Em cenário nacional e também neste estudo, utiliza-se o termo CT, concreto têxtil.

Figura 1 - Composição do CT



Fonte: Triantafillou (2016, p.219); Amanac (2018).

Como explicam Peled, Bentur e Mobascher (2017), o CT é feito com um tecido têxtil contínuo, que é incorporado em uma matriz cimentícia, que consiste em um aglomerante de cimento Portland e adições e agregados de pequena dimensão, geralmente com tamanho máximo de grão menor que 2 mm. Apesar de ser uma matriz de argamassa, o conjunto se caracteriza como um concreto, devido a sua alta resistência às tensões e deformações no estado endurecido.

Em geral, a composição da matriz deve ser compatível quimicamente com os materiais de reforço têxtil, ter uma consistência adequada para penetração total do reforço, bem como apresentar propriedades mecânicas para capacidade de carga de elementos de CT. Nos componentes, é comum contar ainda com aditivos químicos com funções específicas, como superplastificante, modificador de

viscosidade; adições minerais, como sílica ativa, cinza volante e *metacaulin* e podem ser acrescentadas fibras curtas. (BRAMESHUBER, BROCKMANN, 2006).

Conforme Denardi (2016), o compósito tem se mostrado promissor, uma vez que apresenta resistência à tração superior ao concreto armado, além de se tornar um material sustentável, pelo fato do consumo de massa de concreto ser menor, devido à possibilidade de elementos de finas espessuras. O material já foi explorado em elementos de fachadas, pontes, como reforço estrutural de estruturas de concreto convencional, móveis e projetos de configuração maleável.

## 2.1 HISTÓRICO E APLICAÇÕES

### 2.1.1 Histórico de pesquisas

As pesquisas e desenvolvimentos sobre este material inovador se concentraram principalmente na Alemanha, no Reino Unido, em Israel e no Japão, onde se desenvolveram diversos estudos sobre suas características e aplicações, que resultaram em publicações científicas, levando a um aumento significativo no conhecimento desse compósito inovador. (CONTAMINE; SI LARBI; HAMELIN, 2011).

Os estudos na Alemanha iniciaram por volta dos anos 90, através de dois projetos de pesquisa, idealizados pela DFG - *Deutsche Forschungsgemeinschaft*, do alemão, Fundação de pesquisa alemã, e liderados pela Universidade de TU Dresden e pela Universidade RWTH Aachen, tornando o país o principal centro de pesquisa de CT. O objetivo da pesquisa era obter informações a respeito de materiais, propriedades mecânicas do compósito, projeto e dimensionamento, durabilidade e segurança. Além disso, visou a aplicação tecnológica deste produto. A Universidade de TU Dresden lidera as pesquisas no país de CT com fibra de carbono, enquanto que a Universidade RWTH Aachen desenvolve pesquisas de CT com fibra de vidro AR. Após estes projetos, o governo alemão idealizou outros projetos e programas, que colocam a indústria e a universidade lado a lado para o aprimoramento do compósito. (DENARDI, 2016).

Além da Alemanha, outros países são pioneiros na pesquisa de CT. O Japão é um deles, que desenvolveu pesquisas utilizando fibras de vidro, carbono e aramida. A Universidade de Surrey (Inglaterra), com o professor D.J Hannant tem

inúmeras publicações sobre malhas feitas de fibras de polipropileno. Em Israel, na Universidade de Ben Gurion do Negev e do Technion os professores Alva Peled e Amon Bentur, tem liderado estudos sobre a influência da estrutura dos tecidos nas propriedades mecânicas dos materiais compósitos feitos de têxteis na matriz de concreto. (SCHEERER et al., 2015).

Em 2006, foi desenvolvido pelo Comité Técnico RILEM 201-TRC, um relatório de estado-da-arte muito abrangente sobre o tema, contendo neste relatório várias referências para o estudo do CT. Mais recente do que o documento citado, em 2016, teve-se a publicação das recomendações de ensaio de CT, RILEM TC 232-TDT. Segundo este documento, o conceito de concreto têxtil é:

“O concreto reforçado têxtil (CRT) é um composto cimentício de alto desempenho que utiliza fibras alinhadas retas e paralelamente, feitas de materiais adequados, como por exemplo, vidro AR e carbono, como reforço contínuo em forma de têxteis. Concreto têxtil reforçado é normalmente usado para finos elementos de concreto ou como camadas de reforço para estruturas de concreto existentes” (RILEM TC 232- TDT, 2016, p.1, tradução nossa).

Em 2016 foi publicado um livro sobre o concreto têxtil intitulado *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*, do inglês Compósitos de Fibra Têxtil na Engenharia Civil, editado por Thanasis Triantafyllou e que conta com a colaboração de especialistas sobre o tema de cada capítulo. Em 2017 ocorreu a publicação do *Textile Reinforced Concrete*, do inglês, Concreto Reforçado Têxtil, cujos autores são Alva Peled, Arnon Bentur e Barzin Mobasher, referências mundiais no assunto. (DENARDI, 2016).

### **2.1.2 Aplicações**

Apesar de ser um material de construção novo, já foi utilizado em diferentes projetos, como é o caso de passarelas, painéis de fachada para edificações, painéis sanduíches e reparos e reforços estruturais. (PETRE; ZAPALOWICZ, 2012).

Denardi (2006), em seu trabalho, cita os campos promissores no Brasil, para utilização de CT. São eles: construções de estruturas em solos menos competentes, obras de difícil acesso para maquinário pesado, ambientes industriais (possuem bom desempenho em pisos muito carregados e às cargas cíclicas) e ambientes agressivos.

#### 2.1.2.1 Fachadas leves

De acordo com Shams; Hegger; Hortsmann (2014), um dos principais usos do material é atribuído a fachadas leves, devido à reduzida espessura do material e a possibilidade de criar placas finas.

Kulas et al. (2011) apresentam uma das edificações em que se fez uso da tecnologia, na *Community College Leiden*, na Holanda, Figura 2. Já a Figura 3 apresenta uso semelhante em painéis na Alemanha.

Figura 2 - Fachada com painéis de concreto têxtil na Holanda



Fonte: Kulas et al. (2011, p.274).

Figura 3 - Fachada com painéis de concreto têxtil na Alemanha



Fonte: Baunetz Wissen (2018).

#### 2.1.2.2 Painéis sanduíche

Žák, Štemberk e Vodička (2017), informam que o uso do material tem destaque em painéis sanduíche, em elementos portantes. O uso de concreto reforçado com têxtil possibilita a produção de fachadas de concreto muito mais finas e que não alteraram as suas propriedades mecânicas com o tempo, pois não há corrosão da armadura.

Os painéis de fachada são formados por duas placas de CT com um núcleo, que pode ser preenchido com poliestireno expandido (EPS) ou poliuretano (PU). As placas servem para dar resistência, dureza e suportar as cargas atuantes no elemento, enquanto que o núcleo atua como isolante térmico. (MOBASHER et al., 2011; RAUPACH; CRUZ, 2016; PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017). A Figura 4 mostra o painel sanduíche e uma fachada montada com este sistema.

Figura 4 - a) Painel sanduíche de CT, (b) Fachada construída com painel sanduíche de CT



Fonte: Hering Architectural Concrete (2018).

### 2.1.2.3 Passarelas

Com CT é possível projetar componentes de uma seção transversal fina para substituir o concreto reforçado convencional mais pesado, como perfis para pontes. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

A primeira passarela em concreto têxtil foi construída em 2006 na cidade de Oschatz, na Alemanha, com vão livre de 8,6 m. Após, foi construída outra em Albstadt, em 2010, com 97 m. Ambas estão ilustradas na Figura 5. (RAUPACH; CRUZ, 2016).

Figura 5 - Passarrelas feitas com CT na Alemanha



(a) Albstadt



(b) Oschatz

Fonte: Baunetz Wissen (2018).

#### 2.1.2.4 Reforço estrutural

Uma das aplicações muito utilizada para o CT é o reforço estrutural de estruturas existentes, como mostra a Figura 6. (ŽÁK, ŠTEMBERK; VODIČKA 2017).

Figura 6 - Reforço em pilar de supermercado na Holanda



Fonte: Bournas (2016, p.401).

O CT pode ser incorporado em uma estrutura como uma camada externa para fornecer resistência e maior durabilidade, tanto para aplicações em novas estruturas, bem como reparo e *retrofit* de estruturas existentes. A prática atual de

reparo e *retrofit* com CT é baseada na colagem ou envolvimento do elemento com o têxtil e impregnação com polímero usando tecnologia de colocação manual. Os mecanismos de fortalecimento podem estar relacionados ao cisalhamento, ao comportamento de tensão / flexão e à compressão. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017, PETRE; ZAPALOWICZ, 2012).

Petre e Zapalowicz (2012) reforçam que, devido à sua alta resistência à tração na flexão, o CT pode ser efetivamente usado no fortalecimento de elementos em flexão, como lajes ou vigas. Aplicando várias camadas de CT na parte inferior do elemento que é fortalecido, a resistência na carga flexural é substancialmente aumentada.

#### 2.1.2.5 Móveis e estruturas de configuração maleável

O CT permite ao projetista uma liberdade maior, pois este consegue combinar funcionalidade mecânica e física com flexibilidade de modelagem, para atender aos requisitos de projeto arquitetônico. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017). Assim, é possível construir móveis e estruturas nas mais diversas configurações, como sistemas de cobertura e de casaca (Figura 7).

Figura 7 - (a) Imagem de móvel e (b) Cobertura com configuração maleável, ambos na Alemanha.



Fonte: Solidian (2018).

#### 2.1.2.6 Tubos de água e esgoto, barreiras e decantadores

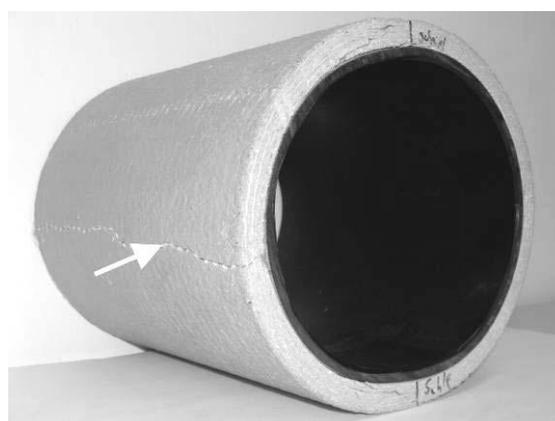
O concreto têxtil, devido a sua flexibilidade, ainda permite a confecção de tubos de água e esgoto (Figura 8), barreiras de proteção sonora em rodovias,

decantadores, entre outros. (LIEBOLDT et al., 2006). Uma das razões para seu uso em tubulações de água é o aspecto de sua superfície, lisa e compacta. Para a tubulação de esgoto, cabe destacar que o material tem durabilidade frente ao ambiente agressivo proporcionado pelos químicos usados no tratamento do esgoto, quando comparado com o concreto armado convencional. Porém, ainda são necessários estudos para avaliar a durabilidade e o comportamento do reforço têxtil à longo prazo, neste ambiente agressivo.

Figura 8 - Tubulação de água e esgoto



Fonte: Goldfeld et al. (2015, p.328).



Fonte: Lieboldt et al. (2006, p.374).

## 2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES

Segundo Naaman (2010), o CT geralmente é constituído de uma matriz de cimento hidráulica reforçada com uma ou várias camadas de têxteis, espaçadas de maneira próxima umas às outras. No mínimo uma camada de têxtil deve ser colocada próxima às duas superfícies externas da estrutura resultante. Os têxteis podem ser polímeros, sintéticos, metálicos, orgânicos ou de outro material adequado.

### 2.2.1 Matriz

A granulometria do agregado da matriz cimentícia e sua composição deve ser compatível com o sistema de armadura têxtil e esse deve ser envolvido por ela. O tamanho máximo de grão da mistura é determinado de maneira que o grão seja capaz de se infiltrar no tecido, ou seja, depende diretamente da abertura de reforço

têxtil escolhida. A matriz pode também conter fibras descontínuas ou microfibras de dimensões apropriadas. O emprego da configuração híbrida de reforço têxtil com fibras curtas dispersas melhora o comportamento à fissuração e parece ser a tendência dos estudos e futuras aplicações. (DUTRA, 2017).

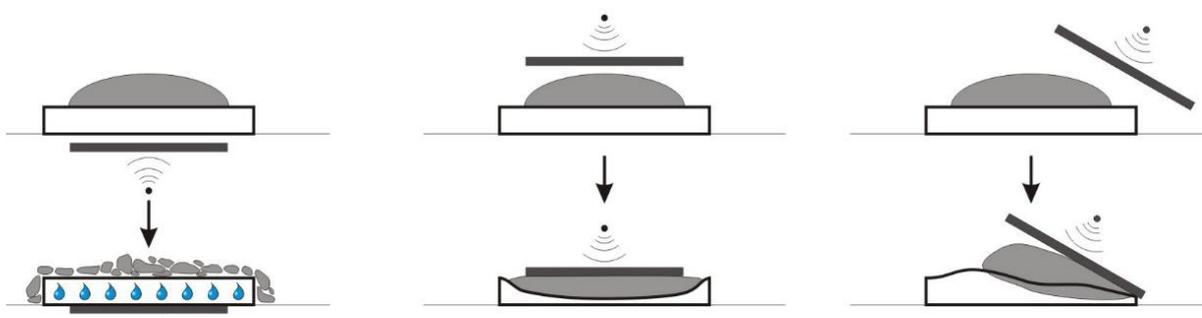
É importante distinguir qual é o material de fibra utilizado antes de produzir a matriz de CT, pois algumas propriedades podem mudar consideravelmente. Deve-se levar em conta a resistência à tração na flexão superior e o módulo de elasticidade, a quantidade de camadas utilizada e o tipo de impregnação do reforço. (PELED; BENTUR; MOBASHER, (2017)

Bournas (2016) comenta que o reforço de fibra de vidro tem uma resistência à tração de 3000 MPa e um módulo de elasticidade de 70 GPa, sendo que, quando impregnada com epóxi (cerca de 200 filamentos), chega a ter resistência à tração na flexão de 1300–1400 MPa.

A matriz é primordial para o sucesso do composto. A ligação é uma propriedade muito complexa e inclui aderência, fricção e ancoragem mecânica à matriz, bem como interação fibra-a-fibra. Geralmente é assumido que o material têxtil e a matriz de cimento são quimicamente compatíveis e que boa ligação existe na interface entre o reforço e a matriz.

Em termos de compactação, Žák, Štemberk e Vodička (2017) avaliaram diferentes procedimentos para lançamento e adensamento do material. . A compactação do concreto permite a redução da relação água-cimento.

Figura 9 - Procedimentos de adensamento e vibração dos concretos



Fonte: Žák, Štemberk e Vodička (2017, p.3).

Como pode ser visto na Figura 9, inicialmente foi testada a mesa vibratória, porém, a água infiltrou pelo reforço e o agregado começou a se mover horizontalmente pela superfície do têxtil. O próximo método envolveu pressionar a mistura com uma espátula vibratória. Neste caso, o tecido foi comprimido e a mistura não conseguiu penetrá-lo. Portanto, um método adequado é usar uma espátula de vibração para enrolar a mistura através do reforço, o que garante a infiltração de todos os componentes da mistura. (ŽÁK; ŠTEMBERK; VODIČKA, 2017).

Também sobre a composição, cabe destacar que alguns autores destacam o consumo de cimento do material, a saber-se que este é elevado em relação aos concretos convencionais e de alta resistência, como exemplificado através da Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de cimento no CT

<b>Autores</b>	<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Colombo et al. (2013)	600
Butler, et al. (2009)	861
Peled; Bentur; Mobasher (2017)	480
Triantafillou 1 (2016)	839
Triantafillou 2 (2016)	700
Triantafillou 3 (2016)	781

Fonte: Elaborado pela autora.

O concreto usado para CT precisa atender demandas, propriedades mecânicas e durabilidade, que são necessárias para obter um comportamento adequado do material composto. A composição da matriz deve ter compatibilidade química com o material dos têxteis, consistência para penetração total, processo de produção planejado e propriedades para capacidade de carga de um elemento de CT. (PETRE; ZAPALOWICZ, 2012).

A matriz é feita de concreto de agregado fino, com o tamanho máximo de partículas de areia menor que 2 mm e a relação água / aglomerante na faixa de 0,40 a 0,45, tornando o TRC um pouco mais durável que o concreto convencional, do ponto de vista do desempenho da matriz. A resistência à compressão está na faixa de 82 a 100 MPa e a resistência à flexão pode chegar a 30 MPa. Isso proporciona um desempenho de durabilidade aprimorado comparado ao concreto convencional, onde as fissuras são limitadas em largura na faixa de 0,1 a 0,3 mm. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017). Este desempenho deve-se a uma matriz de concreto densa, que torna o concreto resistente à penetração de poluentes. (WALTHER; CURBACH, 2015).

Na maioria dos casos, o tamanho máximo de grão utilizado é (<2 mm), portanto, esses sistemas matriciais podem ser considerados como argamassa. Por outro lado, essas matrizes oferecem propriedades de alto desempenho em muitos aspectos e são usadas para um material compósito de construção, de modo que esses sistemas de matriz são chamados de concreto (fino). (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006).

Um aspecto essencial é obter a penetração total dos têxteis técnicos, a fim de garantir uma boa ligação, bem como o comportamento de carregamento. Assim, a consistência da matriz deve ser ajustada para as propriedades do têxtil, geometria da amostra e processos de produção. São desejados aspectos de durabilidade e estabilidade química dos têxteis dentro da matriz, além de baixos valores de fluência e retração. (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006).

O uso de pozolanas na matriz de concreto têxtil é muito comum. Além de reduzirem custos e o impacto ambiental que o cimento causa, elas servem para reduzir a alcalinidade da matriz. Isto é de grande importância, uma vez que os álcalis podem reagir com o reforço e danificá-lo à longo prazo. O uso de escória de alto forno e metacaulim na mistura aumenta a resistência à flexão e melhora a

ligação entre matriz e têxtil. (COLOMBO et al., 2013; BUTLER, et al., 2009; PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017; BOURNAS, 2016).

Em seu estudo sobre o a influência de diferentes teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência, Bianchini (2010), descobriu que o teor ótimo de sílica é de 6% para a relação água/aglomerante igual a 0,38 e de 3% para relação água/aglomerante igual a 0,46. Ele ainda percebeu que a utilização de sílica ativa permite um aumento na trabalhabilidade e aplicabilidade do concreto, além de melhorar a resistência e a absorção de energia do concreto.

A sílica ativa fornece maior durabilidade à matriz, pois fornece à ela baixa permeabilidade, porosidade e absorvidade, o que inibe agressões químicas através de penetração de agentes agressivos e fornece maior resistência mecânica. Além disto, a sílica ativa diminui a exsudação, aumenta a coesão, melhora a aderência pasta/armaduras e pasta/agregados e reduz o consumo de cimento. (TECNOSIL, 2018).

A quantidade de água e aditivos químicos influencia o processo de infiltração de mistura no reforço. Uma quantidade maior de água (relação  $a / c \geq 0,5$ ) facilita a penetração da mistura, porém esta água em excesso degrada as propriedades do material: quanto maior o conteúdo de água livre, menor a resistência mecânica do concreto, maior a porosidade, a retração de secagem e maior é a facilidade de ingresso de agentes agressivos. Aditivos químicos podem reduzir a relação água-cimento para cerca de 0,35. A utilização de aditivos plastificantes é muito comum na produção de betão armado têxtil. (ŽÁK; ŠTEMBERK E VODIČKA, 2017).

A Tabela 2 apresenta um resumo de alguns estudos e dos traços utilizados nas matrizes fabricadas por eles.

Tabela 2 - Composição da matriz cimentícia, em massa kg por m<sup>3</sup> de concreto

Referência	Cimento	Cinza volante	Sílica ativa	Agregado miúdo	Superplastificante (%)	Água
Colombo et al.	600	500	-	957	4 a 5,09	209
Butler; Mechtcherine; Hempel	861	-	-	1148	-	287
Butler; Mechtcherine;	557	251	56	1114	-	251

Hempel						
Butler; Mechtcherine; Hempel	550	248	55	1101	-	248
Triantafillou 1	839	-	-	1469	2,1 a 2,2	277
Triantafillou 2	700	210	70	970	-	256
Triantafillou 3	781	167	167	671	-	314
Peled; Bentur; Mobasher	480	154	41	1380	2,5	211

Fonte: Adaptado de Colombo et al., 2013; Butler; Mechtcherine; Hempel, 2010; Triantafillou; 2016; Peled; Bentur; Mobasher, 2017).

### 2.2.2 Reforço têxtil

Na história, as primeiras evidências da produção de têxteis para vestuário, embalagem e armazenamento que datam de 8.000 e 7.000 a.C., respectivamente, na Mesopotâmia e na Turquia. Os têxteis constituem uma parte essencial da vida cotidiana, uma posição que ocupam desde os tempos antigos. Como é notável, a amplitude de sua aplicabilidade e utilização em produtos de uso diário, que incluem roupas, cordas, móveis e ornamentos decorativos, impressão, medicina e construção. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

A fibra, a unidade básica da indústria têxtil, é o elo entre esses materiais e o têxtil utilizado no concreto, pois todos são produzidos a partir de fibras que são combinadas em fio ou fio que, por sua vez, são então montadas em um tecido acabado. Na sociedade moderna, os materiais compósitos foram usados pela primeira vez na década de 1930, quando as fibras de vidro eram exploradas como reforço para matrizes à base de resina.

Como explicado anteriormente neste trabalho, os reforços têxteis podem ser de vários materiais. Os mais comuns e mais utilizados são carbono e fibra de vidro AR. A fibra de carbono fornece maior resistência última, melhor resistência ao fogo, porém possui menor eficiência e é mais onerosa em relação à fibra de vidro AR. (DENARDI, 2016).

O uso de têxteis, principalmente feitos de álcoois resistentes aos álcalis e que são colocados na direção de tensão principal do composto (chamada de trama), conduzem a uma alta eficácia em comparação com o uso aleatório de fibras curtas

no já conhecido GRC - *Fiber glass reinforced concrete*, do inglês Concreto reforçado com fibras de vidro. A outra direção é chamada de urdume e não suporta a mesma intensidade de tensões, porém dá estabilidade ao têxtil. (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006).

A maioria dos tecidos usados na produção de concreto têxtil é feita de filamentos de vidro AR na forma de fios empacotados. Os módulos de elasticidade das fibras de vidro são muito superiores aos da matriz cimentícia, sendo 70 GPa, comparados a 20-30 GPa para a matriz. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

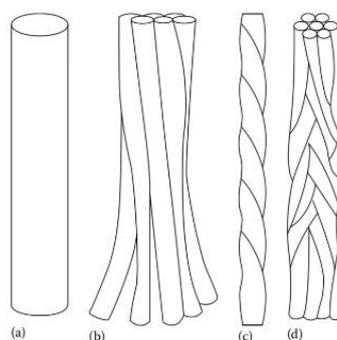
Outros materiais que também são aplicáveis para uso em estruturas de CT são fibras de carbono e aramida resistentes a álcalis, e também podem ser usadas fibras de basalto, aço e polímeros. Este estudo enfocará particularmente em fibras de vidro AR. (BOURNAS, 2016).

Os tecidos permitem que todo o potencial das fibras seja utilizado, pois a técnica de fabricação é totalmente controlada e todas as fibras são posicionadas no compósito ordenadamente, diferente do que acontece com as que são fibras dispersas na matriz. Os tecidos permitem que todo o potencial das fibras seja utilizado, pois a técnica de fabricação é totalmente controlada e todas as fibras são posicionadas no compósito ordenadamente, diferente do que acontece com as que são fibras dispersas na matriz. (GRIES et al., 2006).

Os reforços têxteis têm grande influência na resistência dos materiais compósitos, suas propriedades e magnitude. O método de fabricação e a finura do fio têm uma influência significativa na adesão. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017; BOURNAS, 2016).

Os fios podem ser fabricados em várias formas: fios de filamentos, fios empacotados ou torcidos e fita fibrilada, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Tipos de fios



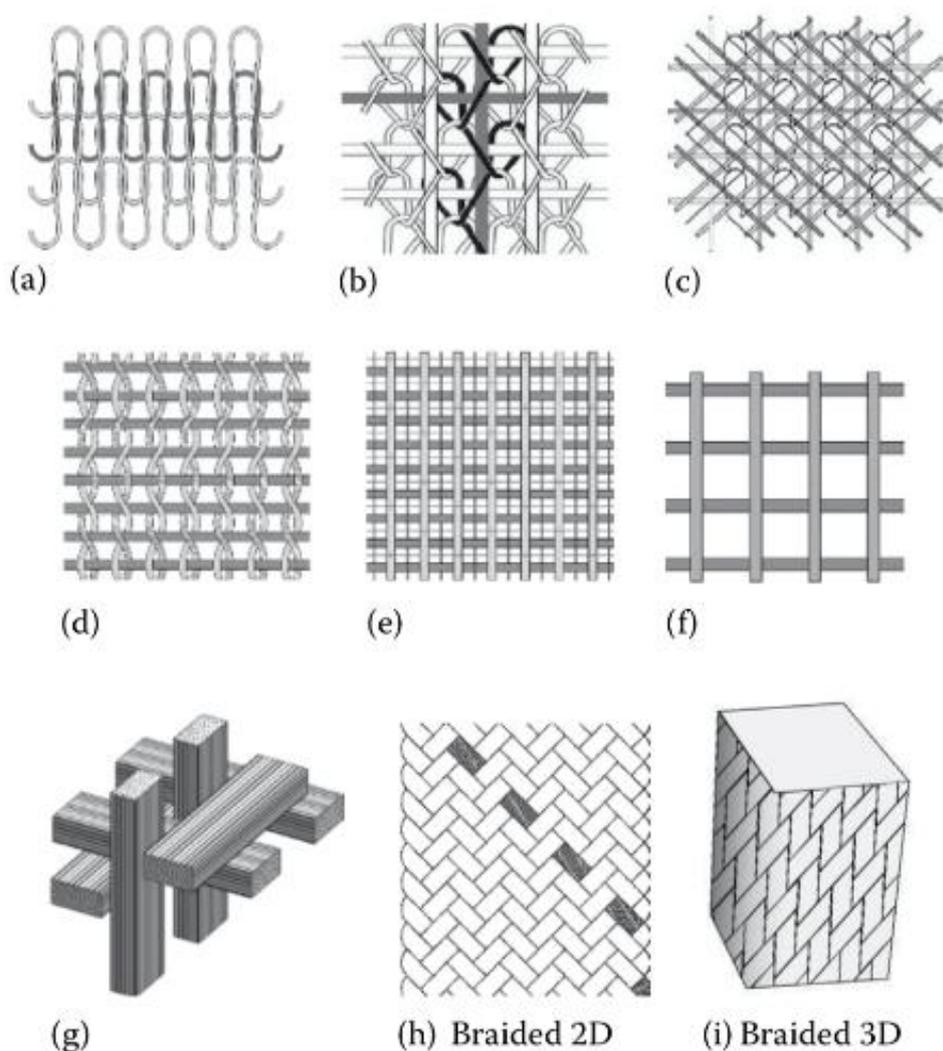
Legenda: (a) monofilamento, (b) multifilamento, (c) torcido, e (d) feixe torcido.

Fonte: Adaptado de Peled; Bentur; Mobasher (2017, p.39).

Os tecidos podem ser fabricados com uma variedade de geometrias que diferem principalmente em como os fios são combinados para formar a estrutura do tecido. O método de conexão dos fios influencia a geometria da malha, abertura, geometria do fio, propriedades da malha e manuseio. Os tecidos são tipicamente classificados com base em seu método de produção, que pode variar muito de simples para formas complicadas. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017). Denardi (2016) explica que a gramatura e o tipo de ponto está ligado com a maleabilidade do têxtil.

A Figura 11 apresenta uma variedade de estruturas de tecido para materiais compostos.

Figura 11 - Estruturas de tecidos de reforço para CT

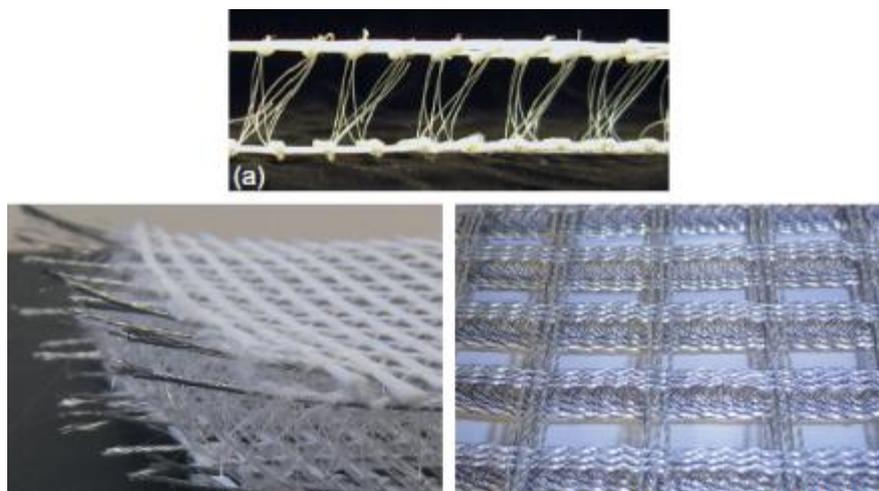


Legenda: (a) malha de trama, (b) malha de urdidura - inserida em trama e urdidura, (c) malha de teia multiaxial, (d) tecida - gaze, (e) tecida - trama e urdidura, (f) colado, (g) tecido 3D, (h) 2D trançado e (i) 3D trançado.

Fonte: Adaptado de Peled; Bentur; Mobasher (2017, p.43).

Os têxteis tridimensionais (Figura 12) surgiram para atender cada projeto particularmente, simplificando o processo de construção e diminuindo o custo do trabalho. Eles podem ser projetados para atender mais de uma função: Podem ser usados como reforço primário, reforço secundário (como para suportar tensões de cisalhamento) ou simplesmente como uma estrutura de suporte para o reforço principal. (BOURNAS, 2016).

Figura 12 - Têxteis tridimensionais



Fonte: Triantafillou (2016, p.427).

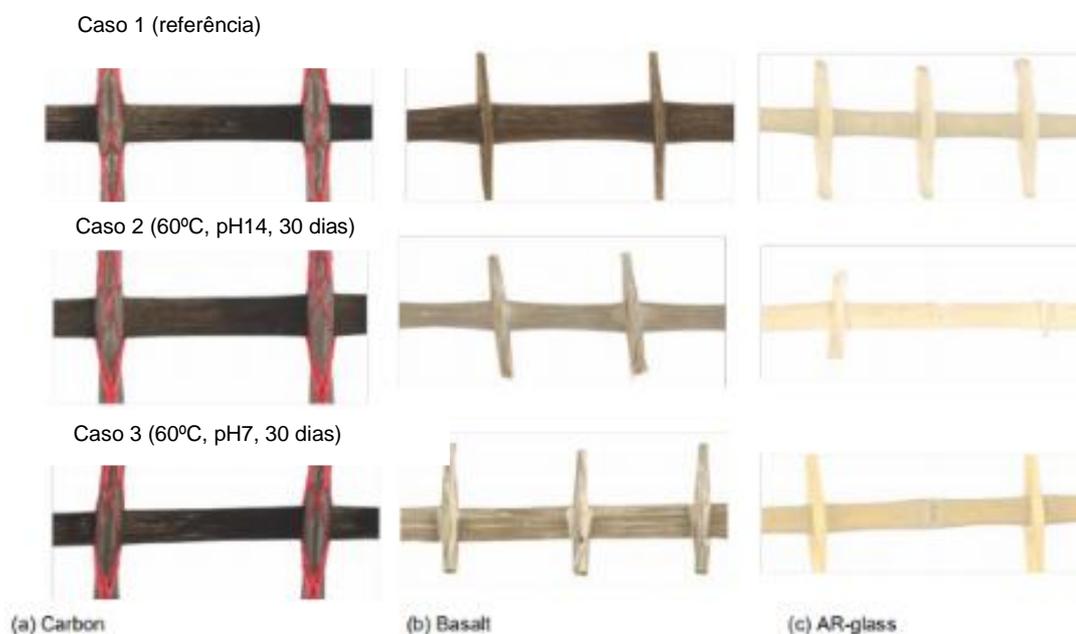
Bournas (2016) explica que, para serem eficazes em matrizes de concreto, os reforços têxteis devem preferencialmente ter as seguintes propriedades:

- a. Resistência à tração na flexão maior que a do concreto (duas a três ordens de grandeza);
- b. Força de aderência com a matriz de concreto, preferivelmente da mesma ordem ou superior à tração na flexão da matriz;
- c. O módulo de elasticidade deve ser preferencialmente, maior que o da matriz.

Quanto ao tipo de impregnação, Bournas (2016) cita que a resina epóxi é mais eficiente que o estireno-butadieno, porém, só permite ser utilizado em estruturas planas, enquanto que os reforços impregnado com estireno-butadieno permite as mais diversas geometrias, por ser mais flexível.

Portal et al. (2015) avaliaram através de ensaios acelerados a durabilidade de três tipos de matriz (carbono, basalto e fibras de vidro AR), em condições distintas, como sintetiza a Figura 13.

Figura 13 - Amostras analisadas de fibras de carbono, basalto e de vidro AR



Legenda: (a) carbono, (b) basalto, (c) vidro AR

Fonte: Portal et al. (2015, p.411).

Os autores verificaram que a malha de fibra de carbono testada possui uma resistência superior aos álcalis e à temperatura de 60°C, em comparação com as demais alternativas.

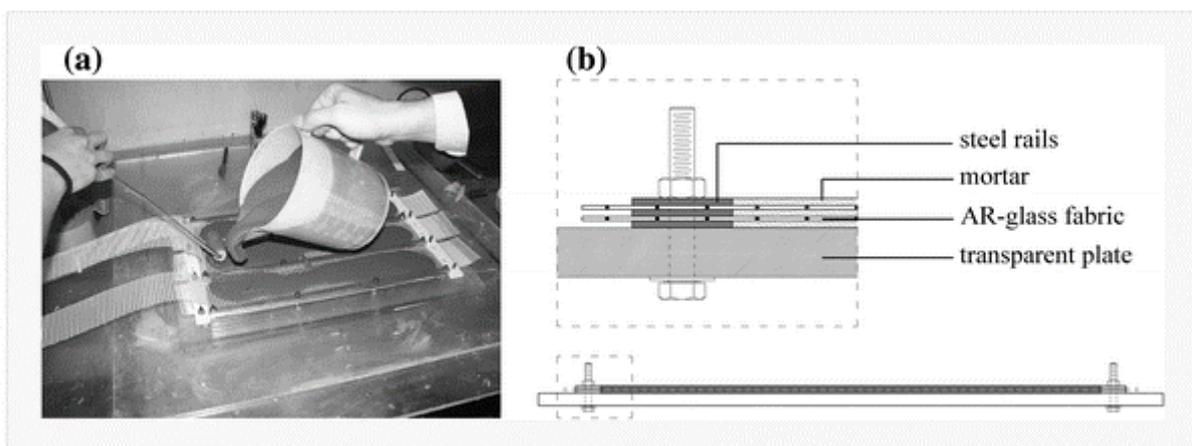
### 2.3 DOSAGEM E PROCESSO DE FABRICAÇÃO

A reologia da mistura fresca e as aberturas do tecido de reforço são fatores-chave que devem ser levados em consideração durante a fabricação, para produzir componentes de alta qualidade e alto desempenho, uma vez que o tecido precisa penetrar na matriz e a matriz cimentícia precisa atravessar as aberturas da malha de tecido. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

A técnica de fabricação de CT se difere das tecnologias utilizadas para a fabricação de concretos com fibras dispersas, como o GRC. Para o concreto reforçado com fibras têxteis, o reforço é incorporado de maneira laminada, com uma ou mais camadas de tecidos em um único compósito. A quantidade de camadas de têxtil a ser utilizada depende da espessura do elemento, carga a qual estará

exposto, entre outros aspectos. Para entender melhor o processo de produção e as camadas do material, apresenta-se a Figura 14.

Figura 14 - Composição do concreto têxtil: (a) Disposição da matriz e colocação da malha têxtil e (b) Processo de confecção de uma amostra de concreto têxtil.



Legenda: De cima para baixo: Chapa de aço, argamassa, reforço de vidro AR, forma transparente.

Fonte: Colombo et al. (2015, p.1937).

Existem diferentes maneiras de fabricação do CT (Figura 15): moldagem, laminação, pulverização, fiação e extrusão. Enquanto as técnicas de moldagem e laminação são mais adequadas para componentes laminares, o método de pulverização permite a produção de peças curvas. Na técnica de fiação, por exemplo, até mesmo tubos podem ser fabricados. (BOURNAS, 2016).

Figura 15 - Métodos de fabricação de CT



(a) Moldagem



(b) Laminação



(c) Pulverização



(d) Fiação

Fonte: Adaptado de Triantafillou (2016, p.47, 50 e 53).

O concreto protendido é um método tradicional para superar a fraqueza do concreto convencional. As vantagens do concreto protendido incluem o controle de trincas e um concreto mais durável. Um método semelhante ao aplicado para concreto armado convencional, pode ser aplicado ao reforço têxtil, em que os tecidos ou fios contínuos são submetidos previamente à tensão, antes da produção de compósitos. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

## 2.4 PROPRIEDADES DO CT

A principal vantagem do TRC é a continuidade e o controle de orientação dos fios, diferente de outros compósitos que utilizam fibras dispersas, fornecendo inerentemente alta eficiência e confiabilidade, o que é essencial para aplicações estruturais e semiestruturais. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

Além disso, uma importante vantagem do reforço têxtil é a sua conformabilidade, que permite a fácil adaptação e consequente produção de peças com geometrias complexas de forma livre. (HEGGER et al., 2004).

Como explicam Peled, Bentur e Mobascher (2017), do ponto de vista da durabilidade e o considerar o uso de CT, tanto o fissuramento precoce quanto a retração por secagem, reduzem a capacidade de carga e aceleram a deterioração, resultando em aumento dos custos de manutenção e redução da vida útil. O uso de CT terá um impacto direto nesta área, uma vez que a resistência e a ductilidade do material reduzem os tamanhos das seções e reduzem o potencial de fissuramento precoce e por retração de secagem.

O concreto reforçado têxtil resulta em uma distribuição de fissuras mais fina do que a do concreto reforçado com aço. No lugar de algumas fissuras críticas, surgem várias fissuras não críticas, ou seja, de menor dimensão. Isso resulta em uma menor permeabilidade da camada de reabilitação. (WALTHER; CURBACH, 2015).

Uma grande vantagem relacionada à durabilidade é a resistência do CT à corrosão, aspecto que se torna importante, por exemplo, em uma análise financeira, pois, mesmo que o concreto têxtil seja uma opção bastante cara, os aspectos de durabilidade e manutenção devem ser levados em conta. Sem a presença da barra de aço, um dos danos de ocorrência mais frequente é extinto.

O desempenho de longo prazo do TRC em estruturas é em grande parte dependente da natureza da fissuração, seja induzido por cargas ambientais (retração de secagem e mudanças de temperatura) ou mecânicas. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

Elementos em CT podem ser produzidos com seções transversais mais finas em relação àqueles em concreto convencional, com economia de até 80% na massa de concreto. (DUTRA et al., 2017). Capacidade de carga até seis vezes maior que o CAC, ou seja, o CT é mais resistente, de menor espessura e não sofre com a alcalinidade do concreto.

O ponto a ser investigado quanto a durabilidade (deterioração com o tempo) do material é como este material reage sob diferentes exposições ambientais e com agentes agressivos, a curto e longo prazo. Para isto, podem ser simulados ambientes com condições severas e após, testadas as propriedades mecânicas do compósito, a fim de avaliar qual influência. Após os estudos, é possível estudar

possibilidades de minimizar o problema apresentado, mudando a matriz, consumo de cimento ou de água, por exemplo.

### 2.4.1 Durabilidade

Quando falamos da durabilidade do CT, considerando que se trata de um compósito, surgem os seguintes requisitos que precisam ser observados:

- a) Durabilidade da matriz TRC
- b) Durabilidade do revestimento das fibras que compõe o têxtil
- c) Durabilidade das propriedades de ligação fibra-matriz

Como explicam Butler, Mechtcherine e Hempel (2009), a durabilidade do CT reforçado com fibra de vidro AR depende principalmente dos seguintes processos de degradação:

- a) Corrosão do próprio reforço de fibra de vidro, devido ao ataque de íons  $\text{OH}^-$  presentes na matriz cimentícia;
- b) Fadiga estática da fibra de vidro sob carga sustentada no ambiente altamente alcalino;
- c) Densificação da matriz em regiões adjacentes à malha, bem como espaços vazios, que geram pontos de vulnerabilidade no concreto.
- d) Influências ambientais, como ataque químico e congelamento.

A durabilidade à longo prazo do concreto reforçado com fibras têxteis requer tratamento e discussão em diferentes níveis, variando da durabilidade do próprio composto em várias condições de exposição e abrangendo sua contribuição potencial para o desempenho de longo prazo das estruturas nas quais O CT está sendo incorporado. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

A durabilidade do próprio compósito requer a abordagem da estabilidade química do reforço na matriz cimentícia alcalina e ao tipo de cimento utilizado. (PETRE; ZAPALOWICZ, 2012).

Além disso, é essencial considerar as implicações dos processos que ocorrem na interface matriz-fio, que são de natureza física, e podem levar ao longo do tempo a mudanças na natureza da ligação. Tais mudanças podem resultar em variações na resposta mecânica geral do compósito, o que pode ser benéfico ou prejudicial. (BENTUR; MINDESS, 2007).

A agressividade do meio onde as estruturas estão inseridas pode reduzir a vida útil das mesmas significativamente. Alguns ambientes apresentam a presença de íon sulfato, como ambientes urbanos, marinhos, industriais, esgotos. Este íon reage quimicamente com os compostos do cimento e forma produtos expansivos, provocando a fissuração e desagregação do concreto. (KULISCH, 2011). Neste sentido, há poucos estudos que procuram avaliar como reage o têxtil, após o íon sulfato chegar até este.

Uma parte importante das investigações para o concreto reforçado têxtil é a determinação do parâmetro de ligação do reforço têxtil com a matriz cimentícia. Já se sabe que diferentes condições de armazenamento - e ambientais - influenciaram o comportamento do vínculo. (KULISCH, 2011).

Como é comum na construção, a capacidade de carga e a durabilidade dos componentes individuais e sua ligação devem ser verificadas antes que o compósito possa ser usado. Atualmente, não existem normativas estabelecidas para o concreto têxtil. Conseqüentemente, a determinação das propriedades dos materiais e do compósito, baseia-se na experiência de pesquisa realizadas anteriormente. (SCHÜTZE, LORENZ, MANFRED, 2006).

Os produtos de hidratação precipitados da matriz são compostos predominantemente de portlandita. O crescimento de cristais de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pode causar entalhes na superfície da fibra. Como consequência, o comportamento do compósito pode mudar de dúctil para frágil devido à conversão de fases de hidratação na interface fibra-matriz, e isso pode influenciar o desempenho mecânico do próprio material compósito. (KONG, et al., 2017).

#### 2.4.1.1 Alcalinidade da matriz

As perdas de desempenho com o envelhecimento do compósito dependem principalmente da alcalinidade da matriz, que influencia a formação de fases sólidas na interface fibra-matriz e na superfície do filamento. Uma composição de matriz com conteúdo reduzido teor de clínquer de cimento Portland e utilização de aditivos pozolânicos favorece a microestrutura de interface fibra-matriz. Neste caso, a resistência à tração na flexão e a capacidade de deformação do TRC podem ser preservadas sem perdas dramáticas ao longo de décadas de exposição ao clima comum. (BUTLER; MECHTCHERINE; HEMPEL, 2009).

Kong, et al. (2017), realizaram testes de tração na flexão em amostras envelhecidas (aceleradas) feitas de CT. Os resultados mostraram uma diminuição pronunciada na resistência à tração na flexão e capacidade de deformação, cuja matriz era mais alcalina.

#### 2.4.2 Resistência à flexão

De acordo com Peled, Bentur e Mobasher (2017), o CT é utilizado em elementos que requerem alta capacidade de deformação, fadiga e alta resistência ao impacto. Desta maneira, o surgimento de múltiplas fissuras sob esforços de tração na flexão, permite que o compósito suporte altas tensões de tração na flexão e altas deformações.

Uma das maneiras de entender e avaliar o comportamento do CT são ensaios mecânicos, comumente sendo realizado pela bibliografia, o ensaio de tração na flexão. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

Os resultados para ensaios de tração na flexão de quatro pontos dos estudos feitos por Kong et al. (2017), estão representados na Tabela 3. É possível observar que há um ganho de resistência aos 90 dias, na amostra armazenada em água à 50°C, mas com um maior tempo de exposição, a resistência decai 40% em relação à resistência inicial da peça.

Tabela 3 - Resultados de ensaios de resistência à flexão

<b>Amostra</b>	<b>Acondicionamento</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
F2-N_0 dia	Natural (20°C, 50% UR)	16,71
F2-N_14 dia	Natural (20°C, 50% UR)	13,13
F2-N_90 dia	Natural (20°C, 50% UR)	11,32
F2-N_120 dia	Natural (20°C, 50% UR)	10,34
F2-A_0 dia	Acelerado (imersão em água à 50°C)	16,71
F2-A_14 dia	Acelerado (imersão em água à 50°C)	12,79
F2-A_90 dia	Acelerado (imersão em água à 50°C)	13,66
F2-A_120 dia	Acelerado (imersão em água	9,62

	à 50°C)	
--	---------	--

Fonte: Adaptado de Kong et al. (2017).

### 2.4.3 Aspectos sustentáveis

Não existe atividade humana, na qual a construção civil não esteja presente para suprir as demandas de bens e serviços requeridos pela população. O aumento populacional, observado após a Revolução Industrial, eleva a demanda desses bens e serviços e conseqüentemente, eleva a demanda por recursos naturais e resulta em um aumento na geração de resíduos sólidos.

Em paralelo a isto, a indústria do concreto é a maior consumidora de recursos naturais, tais como água e agregados e anualmente, há um incremento de 75 milhões de novos habitantes na terra, o que exige mudança na mentalidade do consumo de materiais para a produção do compósito. (REPETTE, W. L., 2010). O concreto é o material de construção civil mais utilizado no mundo todo. De acordo com Pedroso (2009), estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos. Emissões de CO<sub>2</sub> da produção de cimento representam cerca de 5% do CO<sub>2</sub> emitido no planeta Terra. (WBCSD; IEA, 2009).

Neste sentido, as novas tecnologias que promovam a sustentabilidade estão se tornando uma importante força para a inovação na indústria da construção. Os aspectos sustentáveis oferecidos pelo CT, como apresentam Peled, Bentur e Mobascher (2017), são:

1. Potencial para fazer componentes com quantidades consideravelmente menores de material (a construção convencional de concreto é uma tecnologia “rica em material” no sentido negativo - seções transversais de 100–300 mm comparadas a menos de 50 mm para CT). Dessa forma tem-se uma menor utilização de cimento, cuja produção apresenta potencial de dano elevado;

2. Componentes que podem fornecer vida útil esperada para ser muito mais longa do que o concreto convencional;

3. Fornecer a base para tecnologias que estendam a vida útil de estruturas existentes que estejam sofrendo deterioração ou precisem de atualização de seu desempenho mecânico para suportar cargas mais altas, estáticas e dinâmicas.

4. Apresenta uma economia de 80% de economia em massa de concreto.

Dentro do contexto da sustentabilidade, o CT mostra maior vantagem em relação a uma gama de materiais de construção, não apenas concreto, como aço e madeira. A sustentabilidade dos materiais é frequentemente quantificada em termos de energia e emissão de CO<sub>2</sub> (energia e pegadas de carbono), em unidades de energia incorporada por unidade de peso (MJ/m<sup>3</sup>) e carbono incorporado por unidade de peso (kg-CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>). Em nível de comparação, a energia incorporada do aço é de cerca de 156,000 MJ /m<sup>3</sup> e a do CT é de 3,160 MJ / m<sup>3</sup>. O carbono incorporado do aço é de 10,920 kg-CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>, enquanto a do CT é de 340 kg-CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

## 2.5 ENSAIOS E DIAGNÓSTICOS

Para ampliar o uso do concreto têxtil, é importante utilizar testes de caracterização padronizados que sejam simples de implementar e que ofereçam resultados confiáveis, relevantes, comparáveis e reprodutíveis. (CONTAMINE; SILARBI; HAMELIN, 2011).

As propriedades mecânicas devem ser testadas sob diferentes condições de carga. Especificamente, a resposta sob testes de tração e tração na flexão é usada em condições estáticas, de fluência, fadiga e de alta velocidade para medir as propriedades do material que são necessárias no projeto de várias seções. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

Por outro lado, os requisitos e critérios, de desempenho visam limitar o nível de degradação dos materiais de construção, quando submetidos a ensaios que aceleram a ação dos agentes agressivos atuantes sobre a edificação. Os ensaios acelerados realizados em materiais e componentes simulam a ação do calor, da umidade, da radiação ultravioleta, das intempéries, dos agentes biológicos, da água e da abrasão. (D'ALMEIDA; TOLEDO FILHO; MELO FILHO, 2010).

A Tabela 4 apresenta os principais métodos de análise de CT e os autores que já fizeram uso destes.

Tabela 4 - Principais métodos de análise de CT

<b>Material</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Autor</b>
Matriz	Determinação da resistência à compressão	Peled et al. (2017) e Mechtcherine et al. (2016)
	Determinação do módulo de elasticidade	Peled et al. (2017) e Mechtcherine et al. (2016)
Reforço têxtil	Determinação do alongamento e da resistência à tração	Gries et al. (2006)
Concreto têxtil	Verificação do comportamento no ensaio de tração direta	Peled et al. (2017), Mobasher (2016) e Shams et al. (2014)
	Verificação do comportamento no ensaio de tração na flexão	Hegger et al. (2016); d'Almeida et al. (2010); Wang et al. (2016); Holschemacher et al. (2006); Petre; Zapalowicz (2012) e Vlach et al. (2018).
	Determinação dos parâmetros do compósito	Peled et al. (2017), Mobasher (2016) e Shams et al. (2014)

Fonte: Elaborado pela autora.

## 2.4.1 Ensaios durabilidade

### 2.4.1.1 Ataque químico por sulfatos

Walther e Curbach (2015), no sobre o uso de concreto têxtil para reabilitação de tubulações de esgoto, realizam ensaio para avaliar a durabilidade do CT frente ao ataque químico, inserindo as amostras em solução de sulfeto de sódio (29 800 mg SO<sub>4</sub>/l) à temperatura de 20°C, além de submeter outras amostras ao contato com água à temperatura de 20°C. Os resultados mostraram que o comportamento mecânico do compósito não muda drasticamente sob influência química para tempos de exposição curtos, porém há uma perda de 20% da capacidade de carga. Contudo, as condições de armazenamento têm uma influência significativa no comportamento da ligação entre a matriz e o reforço têxtil. As amostras armazenadas em água mostram um pior comportamento de ligação, sendo pior que o comportamento da amostra armazenada em solução de sulfato.

#### 2.4.1.2 Envelhecimento por imersão em água quente

Dois tipos de teste de envelhecimento acelerado para CT podem ser verificados na bibliografia: envelhecimento com água quente e envelhecimento cíclico. O primeiro visa acelerar diretamente as interações fibra-matriz, imergindo amostras em água a uma temperatura elevada (tipicamente  $\geq 50^{\circ}\text{C}$ ). O envelhecimento cíclico tenta simular os ciclos de temperatura e / ou umidade (quente / úmido / frio / seco) aos quais os elementos de CT provavelmente estarão expostos. (MUMENYA; TAIT; ALEXANDER, 2016).

O envelhecimento acelerado em água quente destina-se a avaliar a corrosão das fibras e a interação matriz-fibra em ambientes agressivos. Essa temperatura da água causa um maior processo de envelhecimento. O processo de hidratação é acelerado com a temperatura, pois há um bloqueio dos poros com a formação dos cristais de hidrato. A alta temperatura resulta em uma diminuição da taxa de permeabilidade e aumento da difusividade do concreto. (KONG et al., 2017).

Portal et al. (2015) avaliaram através de ensaio acelerado a durabilidade de três tipos de matriz (carbono, basalto e fibras de vidro AR). Os espécimes foram condicionados em água com pH 7, à temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ . As amostras de basalto envelhecidas foram marcadas por mudança de cor e o que parece ser o levantamento do revestimento à superfície. As amostras de fibra de vidro AR perderam a maioria dos fios transversais. Estas amostras também perderam uma quantidade significativa de rigidez física. Para os reforços de fibra de carbono, nenhuma alteração visível de cor ou na textura da superfície foi observada.

Colombo et al. (2015), testaram o método de envelhecimento deixando os espécimes 6 dias a  $60^{\circ}\text{C}$  e após realizaram ensaios de tração direta. Os resultados mostram que resistência diminuiu em 6% neste período de 6 dias.

Kong et al. (2017) fizeram uso do envelhecimento acelerado, que consistiu na imersão dos espécimes em água quente a  $50^{\circ}\text{C}$ . O desempenho de durabilidade do CT é avaliado pelo desempenho reduzido do desempenho mecânico e a microestrutura da matriz e fibra é observada e discutida após os testes com observações via microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os autores verificaram um aumento na capacidade de resistência à tração e à tração na flexão ao longo do tempo de envelhecimento é observado antes de 90 dias de envelhecimento. No

entanto, após 90 dias, os resultados do teste mostraram uma perda de ductilidade dos espécimes envelhecidos acelerados.

Butler, Mechtcherine e Hempel (2009), também fizeram uso do envelhecimento por meio de imersão de amostras de CT em água à 40°C, e realizaram testes de tração na flexão nas idades de 28, 56, 90, 180 e 360 dias, encontrando perdas de resistência de até 40% em relação à um concreto armazenado em condições de umidade e temperatura ambiente.

É possível perceber que a faixa de temperatura comumente utilizada pela bibliografia é de 40 a 60°C. Para este estudo, optou-se por utilizar a temperatura de 50°C.

#### **2.4.2 Ensaio mecânicos**

O reforço têxtil no TRC é usado para absorver forças de tensão de tração na flexão. O teste de flexão permite uma determinação confiável da resistência à tração. (SCHÜTZE, LORENZ, MANFRED, 2006). De acordo com Vlach et al. (2018), a tensão de flexão é a melhor descrição de o comportamento do concreto armado têxtil em condições reais.

O número de amostras de teste necessárias depende do respectivo objetivo. Assim, pelo menos três amostras para ensaios de tração na flexão são recomendadas para a determinação do comportamento geral de suporte de carga e para estudos de parâmetros. (SCHÜTZE; LORENZ; MANFRED, 2006).

Kulas et al. (2015), fizeram uso do teste de flexão em quatro pontos, conforme Figura 16, para o estudo sobre fachadas ventiladas. O ensaio consistiu em posicionar os corpos de prova, moldados em forma de placas, em um equipamento de rompimento (prensa), sobre dois cutelos, (apoios), sendo a carga aplicada por dois cutelos superiores, apoiados sobre o terço central do vão da placa.

Figura 16 - Ensaio de tração na flexão de quatro pontos

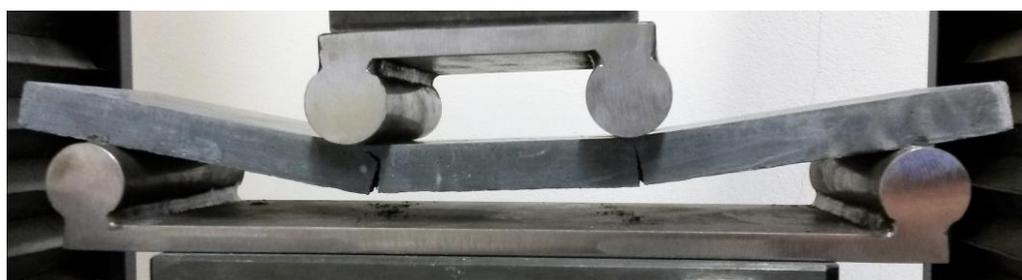


Fonte: Kulas et al. (2015, p.275).

Kong et al. (2017), também fizeram uso do teste de flexão de quatro pontos. O objetivo do ensaio é criar um momento de flexão no CT e assim solicitar as fibras inferiores em tensão (as fibras superiores estarão em compressão devido ao comportamento assimétrico). A velocidade de carregamento utilizada pelos autores foi de 1 mm / min e a extensão da amostra retangular em forma de placa foi de 83 mm, que é um terço da extensão de suporte (250 mm) por eles utilizado.

Vlach et al. (2018), produziram painéis de dimensões 100 x 360 x 18 mm. Durante o teste, a distância entre os centros de suporte para o teste de flexão de quatro pontos foi de 300 mm e 100 mm entre os centros de suporte de carregamento. A velocidade de carga controlada de 2 mm por minuto. A Figura 17 apresenta a deformação da amostra durante o ensaio realizado.

Figura 17 - Vista das juntas plásticas formadas durante o experimento



Fonte: Vlach et al. (2018, p.162).

Além destes, outros autores como Hegger et al. (2016); d'Almeida; Toledo Filho e Melo Filho (2010); Wang et al. (2016); Holschemacher et al. (2006); Petre; Zapalowicz (2012) e Vlach et al. (2018); fizeram uso do teste de tração na flexão de quatro pontos para CT em seus estudos.

### **2.4.3 Análises microscópicas**

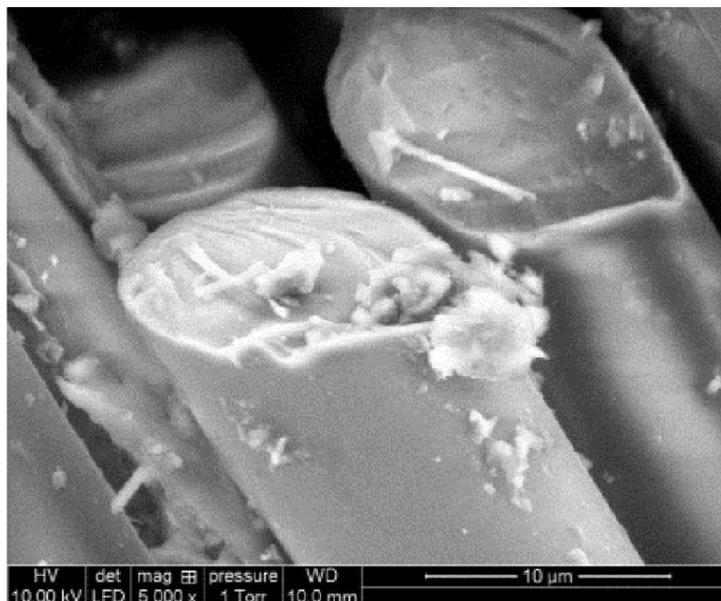
A interface entre a matriz e o reforço e a análise da superfície das fibras é analisada através de microscópios. Alguns autores já verificaram a influência da exposição do CT em ambientes agressivos ou de condições aceleradas e analisaram, após a exposição, a influência disto na ligação fibra-matriz e geometria de ruptura da fibra do reforço.

Para tal, podem ser empregadas técnicas envolvendo microscópios de alta precisão, tomógrafos, microscopias eletrônicas, entre outros, como já realizado nos estudos de Kong et al. (2017); Butler, Mechtcherine e Hempel (2009), Purnell, et al. (2006), entre outros.

#### **2.3.4.1 Geometria de ruptura e superfície da fibra**

Kong et al. (2017) verificaram a forma de ruptura da fibra no ensaio de tração na flexão. A Figura 18 mostra uma imagem obtida através de microscópio eletrônico de varredura (MEV), e demonstra a falha frágil das fibras. Também pode ser visto que as superfícies transversais das fibras se deformam como uma forma biselada antes de falharem.

Figura 18 - Forma de ruptura da fibra no ensaio de tração na flexão

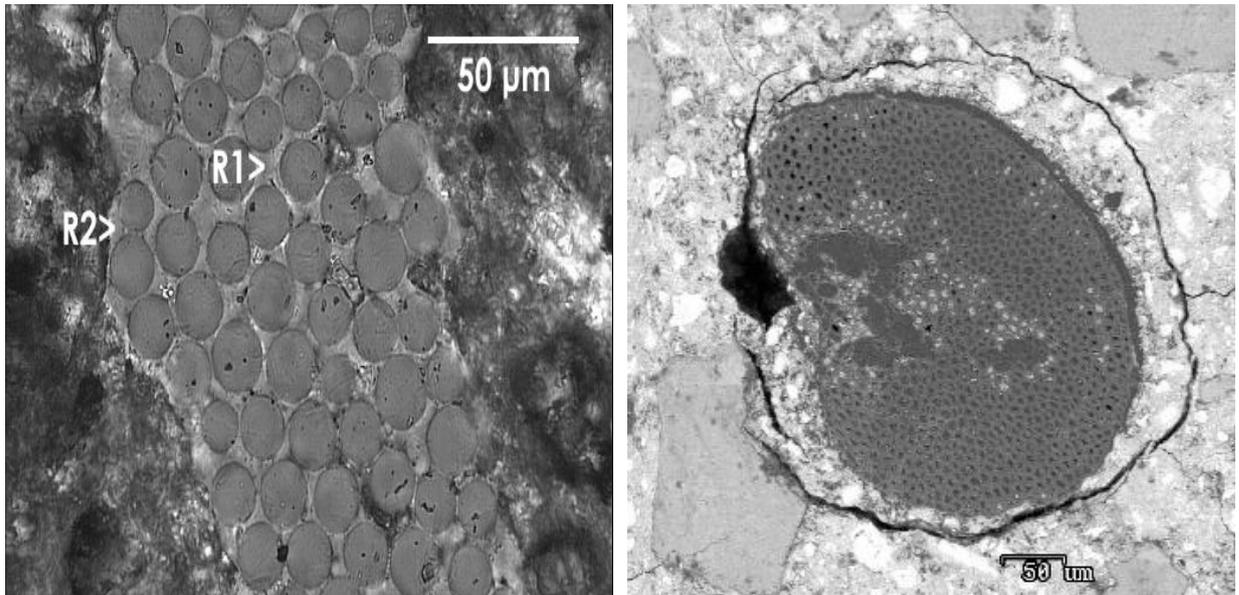


Fonte: Kong et al. (2017, p.116).

#### 2.3.4.2 Interface entre matriz e fibra

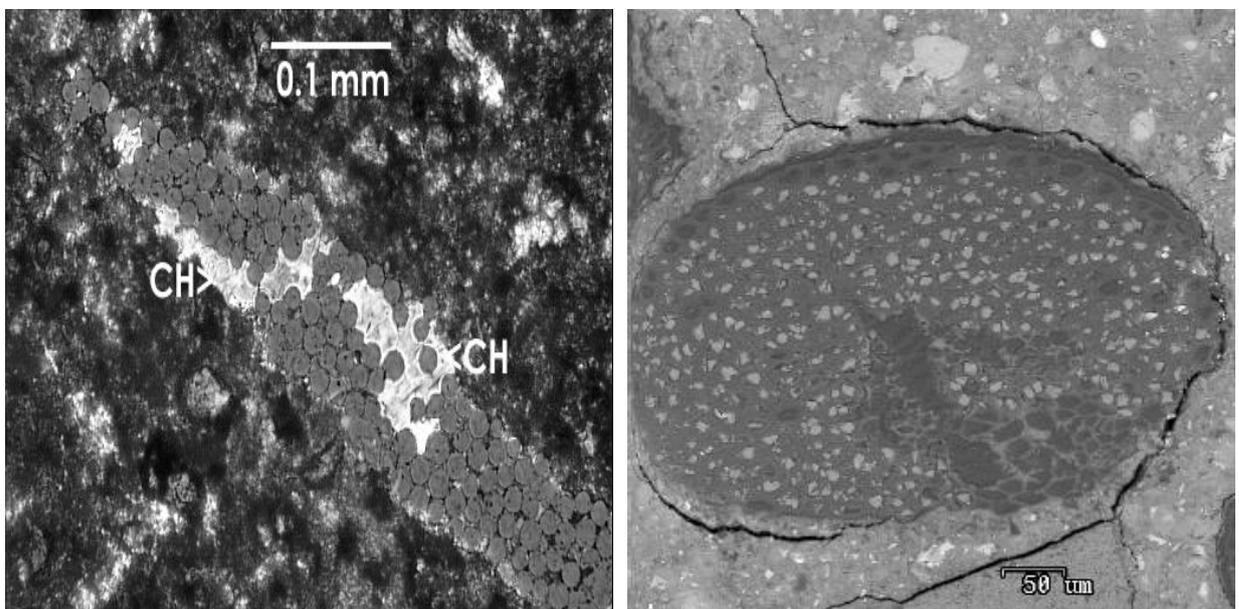
A Figura 19 mostra a microestrutura de matriz de CT. A interface porosa e os espaços internos do reforço permanecem em grande parte livres do produto de hidratação. A Figura 20 mostra a microestrutura da mesma amostra após o envelhecimento, de tal forma que ocorreu uma degradação significativa das propriedades mecânicas. Pela imagem, percebe-se que grande parte do espaço foi preenchido com produto de hidratação. Este processo é conhecido como mineralização, petrificação e “enchimento”. Este processo é responsável por reduzir a tenacidade da fibra, uma vez que há um aumento na ligação de matriz-fibra. (PURNELL, et al. 2006).

Figura 19 - Microestrutura de matriz de CT na idade inicial



Fonte: Purnell, et al. (2006, p.195).

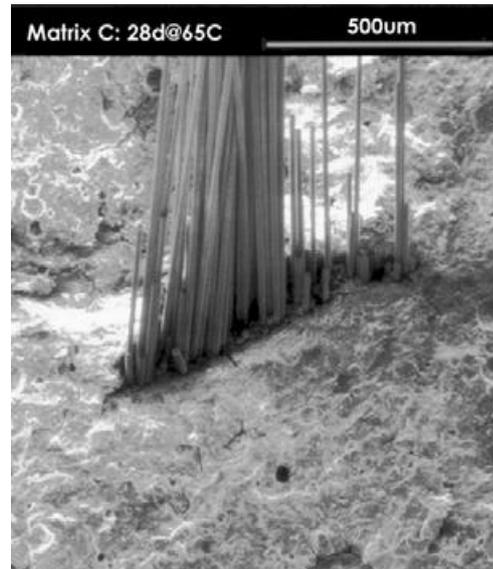
Figura 20 - Microestrutura de matriz de CT após envelhecimento (56 dias à 65°C)



Fonte: Purnell, et al. (2006, p. 195).

O autor ainda explica que o espaço entre os filamentos da fibra de vidro do reforço têxtil preenchido com produtos de hidratação, mesmo em amostras não envelhecidas, sem prejuízo na resistência do compósito.

Figura 21 - Amostra de CT envelhecida (28 dias a 65°C)

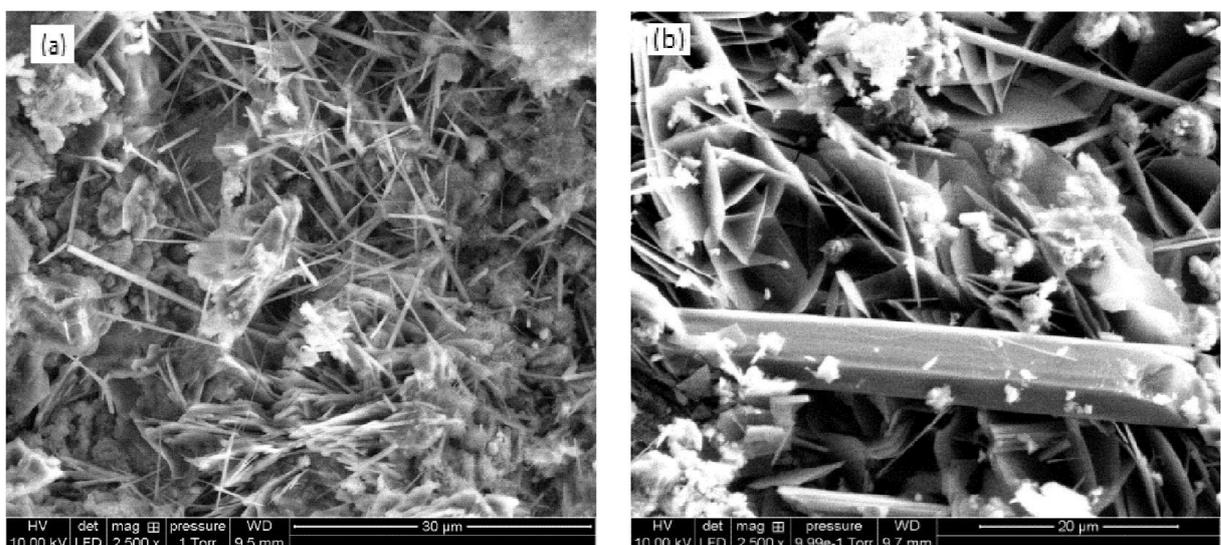


Fonte: Purnell, et al. (2006, p. 197).

Na Figura 21, observa-se a superfície de fratura de amostra envelhecida (28 dias a 65 ° C) mostrando o comportamento pseudo-dúctil de rompimento.

Nos estudos de Kong et al. (2017), também houve o aparecimento da microestrutura na interface entre fibra e matriz, conforme imagens obtidas a partir de investigações de MEV (Figura 22).

Figura 22 - Comparativo entre (a) Matriz referência e (b) Matriz após 120 dias em água quente à 50°C

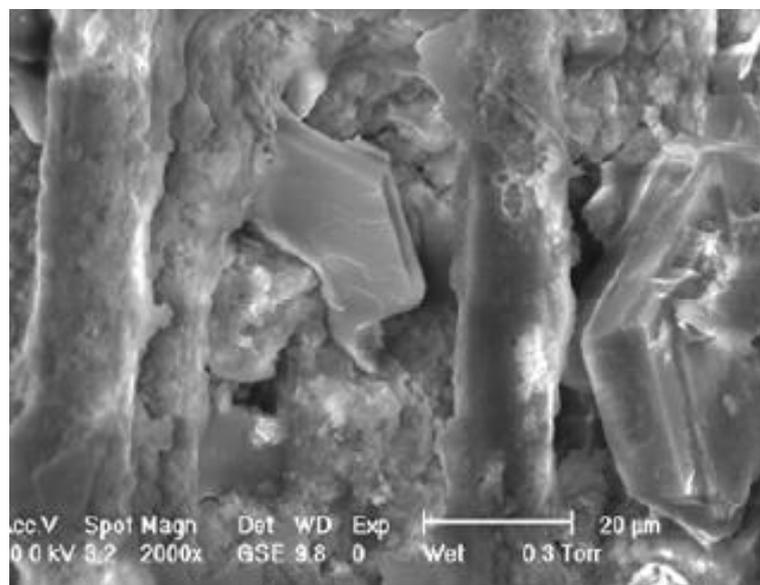


Fonte: Kong et al. (2017, p.119).

Kong et al. (2017) explicam que, reduções na tenacidade do CT pode ser atribuída principalmente à nova fase sólida na interface fibra-matriz, enquanto a deterioração da fibra de vidro AR parecia desempenhar apenas um papel secundário.

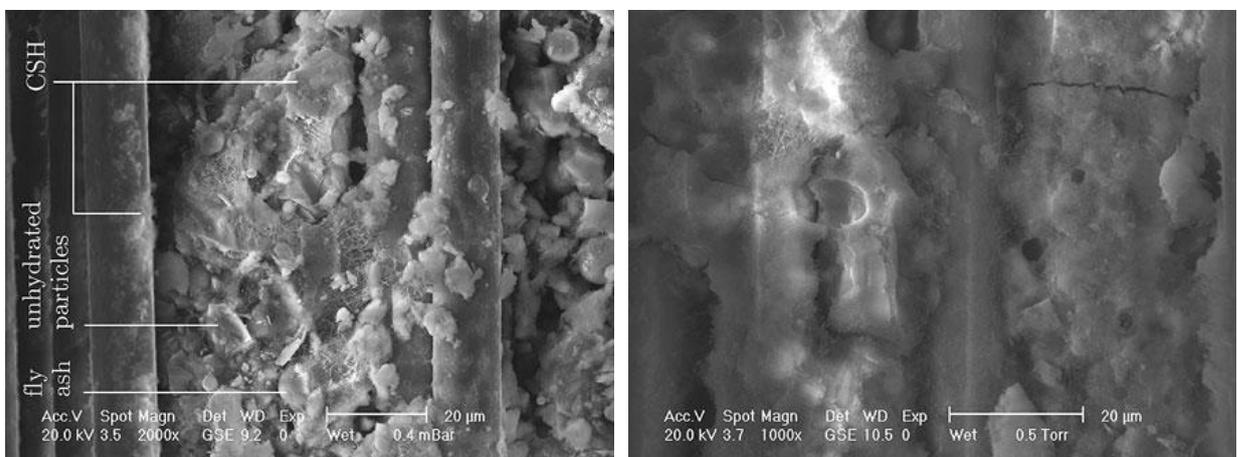
Mechtcherine (2015) e Butler; Mechtcherine e Hempel (2009) também analisaram a matriz através de imagens obtidas com microscópio, como se observa nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Amostra após 28 dias de envelhecimento acelerado a 50°C



Fonte: Mechtcherine (2015, p.249).

Figura 24 - Comparativo entre (a) Matriz referência e (b) Matriz após 360 dias imersa em água quente à 40°C



(a)

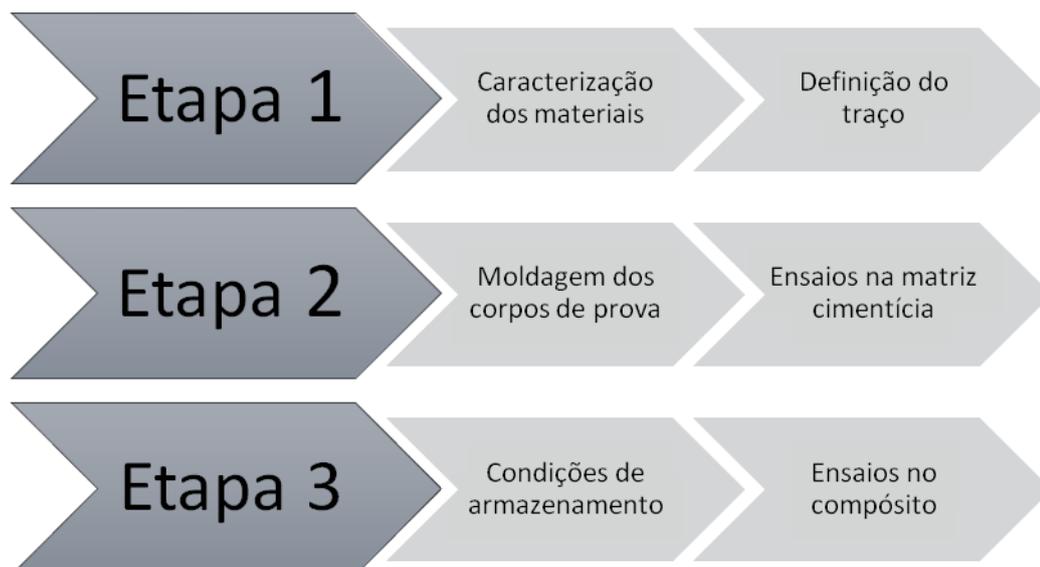
(b)

Fonte: Butler; Mechtcherine e Hempel (2009).

### 3 METODOLOGIA

O programa experimental deste estudo foi dividido em três etapas, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 - Etapas do programa experimental

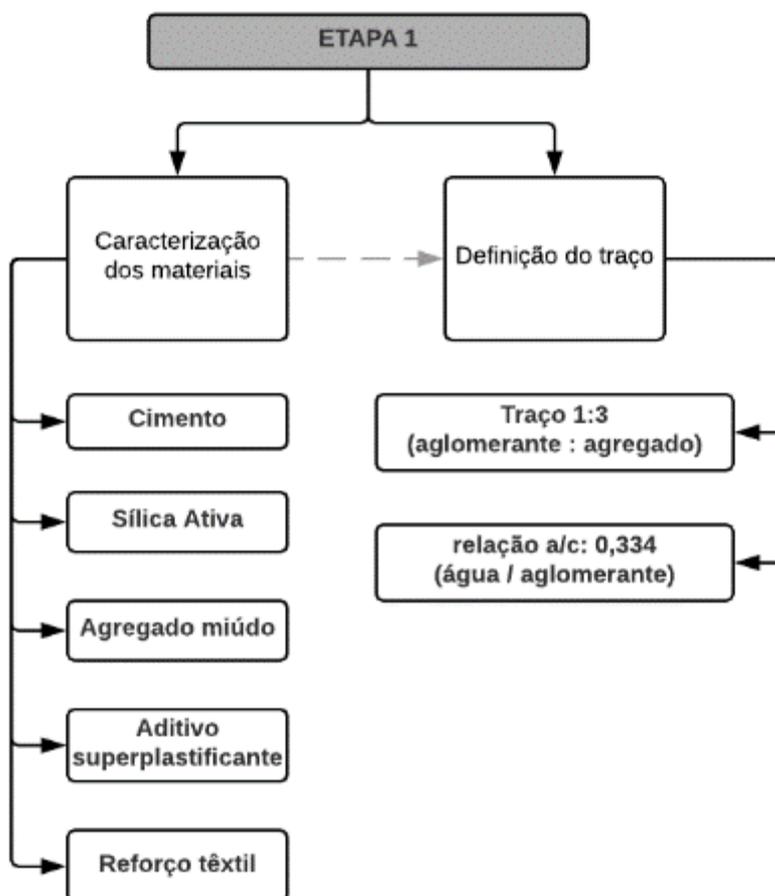


Fonte: Elaborado pela autora.

#### 3.1 ETAPA 1

Na primeira etapa foram escolhidos os materiais a serem utilizados no estudo, bem como realizada a sua caracterização e, após foi definida a matriz cimentícia a ser utilizada, como ilustra a Figura 26.

Figura 26 - Etapa 1 do programa experimental



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.1 Escolha e caracterização dos materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram escolhidos levando em consideração os fatores econômicos, sustentáveis e operacionais, buscando a melhor alternativa. Optou-se por utilizar somente materiais fabricados no Brasil, justamente pela falta de pesquisas sobre o compósito no país.

#### 3.1.1.1 Cimento

O cimento utilizado é o cimento Portland CP V-ARI, da marca Votorantim. A característica desse material é possuir alta resistência inicial, sem a utilização de adições pozolânicas.

### 3.1.1.2 Aglomerante

Como aglomerante, foi utilizada sílica ativa, pela sua capacidade de proporcionar resistência, fluidez e durabilidade ao concreto. Ademais, é mais econômica que o cimento e sustentável, do ponto de vista da substituição do cimento e por ser um produto que seria descartado no meio ambiente.

### 3.1.1.3 Agregado

O agregado miúdo utilizado, classificado como areia fina é natural de origem quartzosa, oriunda de Osório, no estado do Rio Grande do Sul. A caracterização do agregado miúdo foi realizada através da composição granulométrica, massa unitária, massa específica. Para determinar estas propriedades do agregado, foram seguidas as normas NBR NM248 (ABNT, 2003), NBR NM45 (ABNT, 2006), NBR NM52 (ABNT, 2009), respectivamente. Após a caracterização, para que houvesse homogeneidade na umidade do material e para que a quantidade de água retida nas partículas não interferisse na dosagem, a areia foi seca em estufa à temperatura de 100°C até massa constante, e após armazenada em tonel fechado, para posteriores utilizações.

#### 3.1.1.3.1 *Massa unitária*

A massa unitária do agregado miúdo resultou em 1500 kg/m<sup>3</sup> e o índice de volume de vazios ficou igual a 41%.

#### 3.1.1.3.2 *Massa específica*

A massa específica da areia utilizada no estudo foi de 2,56 g/cm<sup>3</sup>, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado do ensaio de massa específica

Amostra	Massa específica do agregado seco (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica do agregado (g/cm <sup>3</sup> )
1	2,5279	2,5412	2,5618	2,56
2	2,5388	2,5471	2,5600	

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.1.3.3 Composição granulométrica

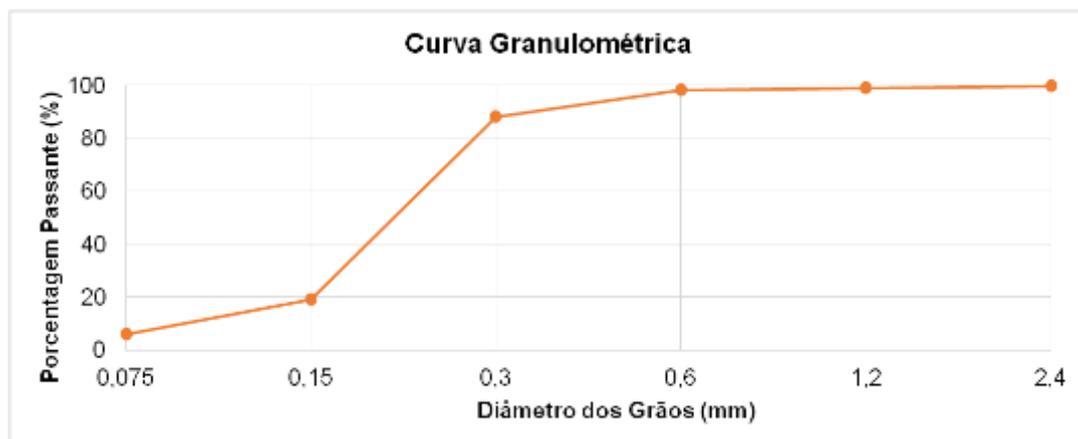
O resultado da composição granulométrica da areia é ilustrado na Tabela 6 e Figura 27. O módulo de finura da areia analisada é 1,90 e o diâmetro máximo característico igual a 0,6 mm.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de composição granulométrica

Peneira	Peso retido (g)			Percentagem em peso (%)		Percentagem passante (%)
	Amostra 1	Amostra 2	Média	Retido	Acumulado	
2,4	2,7	0,1	1,4	0	0	100
1,2	4,5	0,3	2,4	1	1	99
0,6	4	0,4	2,2	1	2	98
0,3	34,8	31	32,9	10	12	88
0,15	249,7	201,4	225,55	69	81	19
0,075	36,2	47,3	41,75	13	94	6
0	20,4	19,3	19,85	6	100	0
TOTAL	352,3	299,8	326,05		100	0

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27 - Curva granulométrica da areia analisada



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 3.1.1.4 Água

A água utilizada neste trabalho é proveniente do abastecimento público e atende os padrões de potabilidade apresentados na NBR 15900-1 (ABNT, 2009), com pH 7 (neutro).

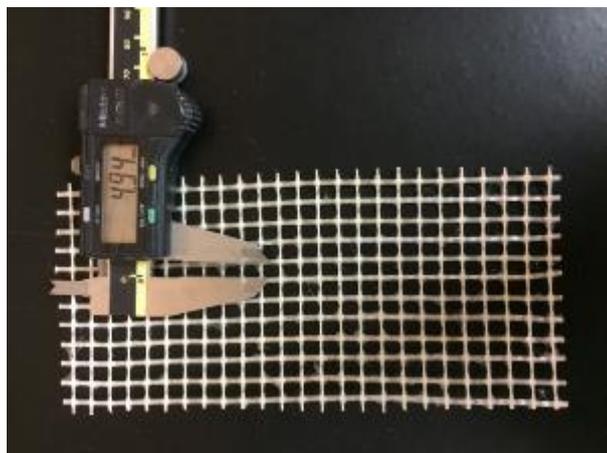
#### 3.1.1.5 Aditivo

O aditivo utilizado neste trabalho é o Powerflow 4000, produzido pela empresa Bauchemie. O aditivo é caracterizado como superplastificante à base de policarboxilato. O fabricante fixa o uso de adição na matriz cimentícia em 0,2 a 5% sobre a massa do cimento. Para o estudo, foi fixado o valor de 1,35%.

#### 3.1.1.6 Reforço têxtil

O reforço têxtil utilizado tem abertura de 0,5 mm, de fibra de vidro AR, envolvida em resina de estireno butadieno, como segue na Figura 28. O tipo de tecelagem é giro inglês e as demais características são encontradas na Tabela 7.

Figura 28 - Reforço têxtil de vidro AR utilizado no estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7 - Características do reforço têxtil

Parâmetro	Unidade	Valor encontrado
Peso	g/m <sup>2</sup>	200,1
Largura	cm	100
Espessura	mm	0,43
Resina	%	15,5

Fonte: Adaptado do Laudo de análise do produto – Texiglass (2018).

Para avaliar a resistência à tração e o alongamento do reforço, empregaram-se os procedimentos da NBR ISO 13934-1 (ABNT, 2016). O ensaio consiste em aplicar uma taxa de deslocamento de 300 mm/min em corpos de prova de 50 mm de largura e 200 mm de comprimento. Para tal, são necessários 10 corpos de prova, sendo 5 para ensaio na direção do urdume e outros 5 para ensaio na direção da trama. A moldagem das peças é feita na direção da trama, que a direção mais resistente à tração.

Os resultados do ensaio de tração no reforço têxtil estão apresentados na Tabela 8. Tem-se que o valor de resistência à tração médio no sentido da trama é de 2926 N e o percentual de alongamento é de 3,8, enquanto que o valor médio de resistência à tração no sentido do urdume é 1483 N e o alongamento ficou igual a 2,7%.

Tabela 8 - Resultado do ensaio de tração no reforço têxtil

Sentido do ensaio	Nº da amostra	Carga máxima (N)	Alongamento (%)
Trama	1	2908	4,3
	2	2694	3,7
	3	3305	3,5
	4	2806	3,9
	5	2915	3,9
	Média	2926	3,8
Urdume	1	1595	2,9
	2	1309	2,2
	3	1549	3,1
	4	1418	2,4
	5	1546	2,8
	Média	1483	2,7

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.1.2 Definição do traço

Possuindo as características dos materiais utilizados e seguindo a bibliografia a respeito do material compósito, foi possível definir a dosagem. O traço ficou igual 1:2 (aglomerante : agregado) em massa. A relação entre água e aglomerante (cimento + sílica) ficou igual a 0,334. A substituição de sílica por cimento, ocorreu na ordem de 15%, sendo esta uma faixa comum nos estudos de Bianchini (2010). A Tabela 9 apresenta a composição do traço, em kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 9 - Composição do traço em kg/m<sup>3</sup>

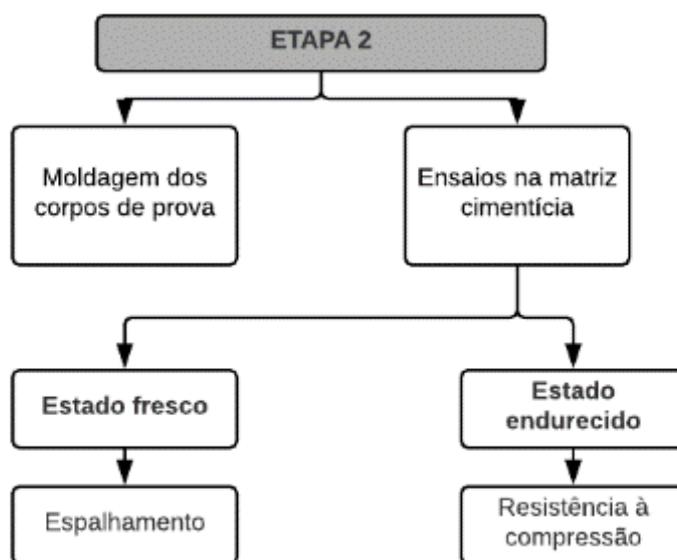
Material	Quantidade (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	634
Areia	1268
Sílica ativa	95,1
Água	243,5
Aditivo superplastificante	8,6

Fonte: Elaborado pela autora.

## 3.2 ETAPA 2

A segunda etapa (Figura 29) consistiu na moldagem das amostras, de acordo com a dosagem previamente estabelecida. Concomitantemente, foram realizados ensaios no estado fresco do concreto produzido e foram moldados corpos de provas para avaliar as características do concreto no estado endurecido.

Figura 29 - Etapa 2 do programa experimental



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Para as moldagens, manteve-se o tempo de mistura igual a 10 minutos e foi definida a ordem de colocação dos materiais. Primeiramente colocou-se a sílica ativa e parte da água na argamassadeira, ligando-a na velocidade alta. Após, colocou-se uma parte do aditivo, e posteriormente o cimento, diminuindo a velocidade do equipamento. Foi colocada a areia, mantendo a mesma velocidade e adicionou-se mais aditivo. No final, adicionou-se mais água e manteve-se a velocidade baixa. A Figura 30 ilustra o procedimento seguido.

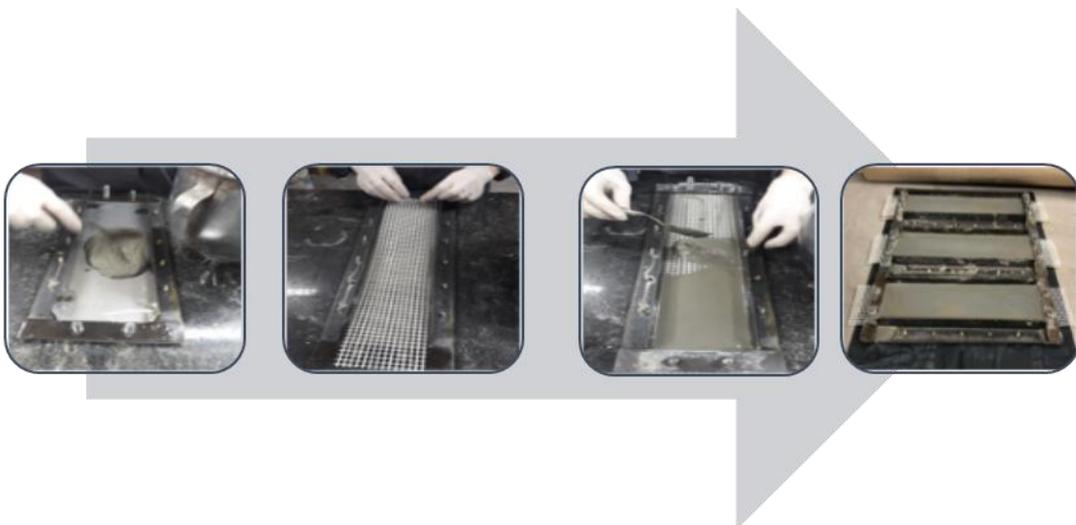
Figura 30 - Etapas do preparo do concreto



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a confecção das amostras, foi feita uma camada de 3 mm de concreto no fundo da forma e sobre ela, colocada um reforço têxtil. Após, se repetiu este procedimento e no final, colocou-se mais uma camada de concreto (Figura 31).

Figura 31 - Passo a passo da confecção das amostras para os ensaios no CT

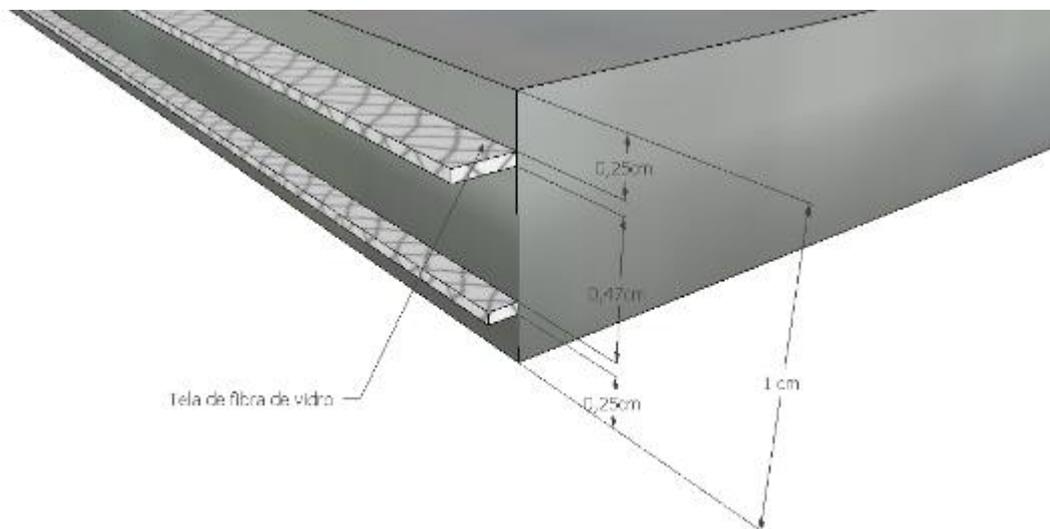


Fonte: Elaborado pela autora.

Foram moldados 9 corpos de prova de dimensões 50 por 100 mm, para cada ensaio no estado endurecido da matriz cimentícia, sendo 3 corpos de prova para cada idade de rompimento (7, 28 e 56 dias).

Para o ensaio de tração na flexão no compósito, foram moldadas 27 peças de concreto têxtil com dimensões iguais a 360 mm de comprimento, 100 mm de largura e 12 mm de espessura, como apresentado na Figura 32 e seguindo conforme o estudo de Vlach et al. (2018). Estas amostras foram divididas entre os ambientes de armazenamento e idade de rompimento, como caracteriza a Figura 32.

Figura 32 - Croqui do corpo de prova e de suas camadas



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10 - Quantidade e dimensões dos corpos de prova de CT

Ensaio	Armazenamento	Idade de rompimento (dias)	Quantidade de corpos de prova	Dimensões dos corpos de prova (mm)
Tração na flexão	Cura úmida	7	3	360 x 100 x 12
		28	3	
		56	3	
	Água quente (50°C)	7	3	360 x 100 x 12
		28	3	
		56	3	
	Solução de sulfato	7	3	360 x 100 x 12
		28	3	
		56	3	

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2.2 Caracterização da matriz cimentícia

#### 3.2.2.1 Estado fresco

No estado fresco do concreto, a matriz cimentícia foi caracterizada através do ensaio de índice de consistência da argamassa no estado fresco (Figura 33), conforme a norma NBR 13276 (ABNT, 2016), a fim de avaliar a trabalhabilidade da matriz. O desejável é conseguir uma mistura homogênea e na qual haja coesão entre os materiais componentes da matriz.

Figura 33 - Ensaio de índice de consistência



Fonte: Elaborado pela autora.

O índice de consistência da matriz cimentícia ficou igual a 377 mm, conforme mostra a Tabela 11. Na Figura 34, é possível perceber que não houve exsudação e segregação no concreto, uma vez que não se percebeu o acúmulo dos agregados, tampouco a formação de película de água no contorno da amostra.

Tabela 11- Resultado do índice de consistência da argamassa

<b>Amostra</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>
D1	375
D2	375
D3	380
Média	377

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 34 - Imagem da argamassa no estado fresco



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2.2.2 Estado endurecido

No estado endurecido do concreto, através do ensaio de resistência à compressão axial no estado endurecido, de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 1997), foram obtidas as características mecânicas da matriz cimentícia. As idades avaliadas para o estado endurecido foram 7, 28 e 56 dias. A idade de 7 dias foi escolhida, pois uma das maiores aplicações do CT é em pré-fabricados, ou seja, a peça precisa ser desmoldada com pouca idade. A idade de 28 dias é uma idade padrão de cura de concreto e, além disso, um tempo de armazenamento de 56 dias foi escolhido para investigar a tendência do comportamento do concreto à longo

prazo, levando em conta a sílica ativa utilizada, pois, sendo ela uma pozolana, só irá reagir efetivamente após certa idade.

A avaliação no estado endurecido da matriz cimentícia deu-se por meio do ensaio de compressão axial e os resultados, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado do ensaio de compressão axial

Idade (dias)	Amostra	Diâmetro médio (mm)	Altura (mm)	Carga de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão de Ruptura Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
7	a	50,2	90,4	140,9	71,3	71,8	1,4
	b	50,1	90,5	145,9	74,0		
	c	50,1	92,3	144,6	73,3		
28	a	50,4	93,1	174,2	87,3	89,8	3,6
	b	50,2	93,0	179,2	90,7		
	c	50,1	93,1	185,9	94,5		
56	a	50,3	94,7	195,7	98,7	101,4	4,4
	b	50,3	92,4	201,4	101,5		
	c	50,1	93,4	211,3	107,4		

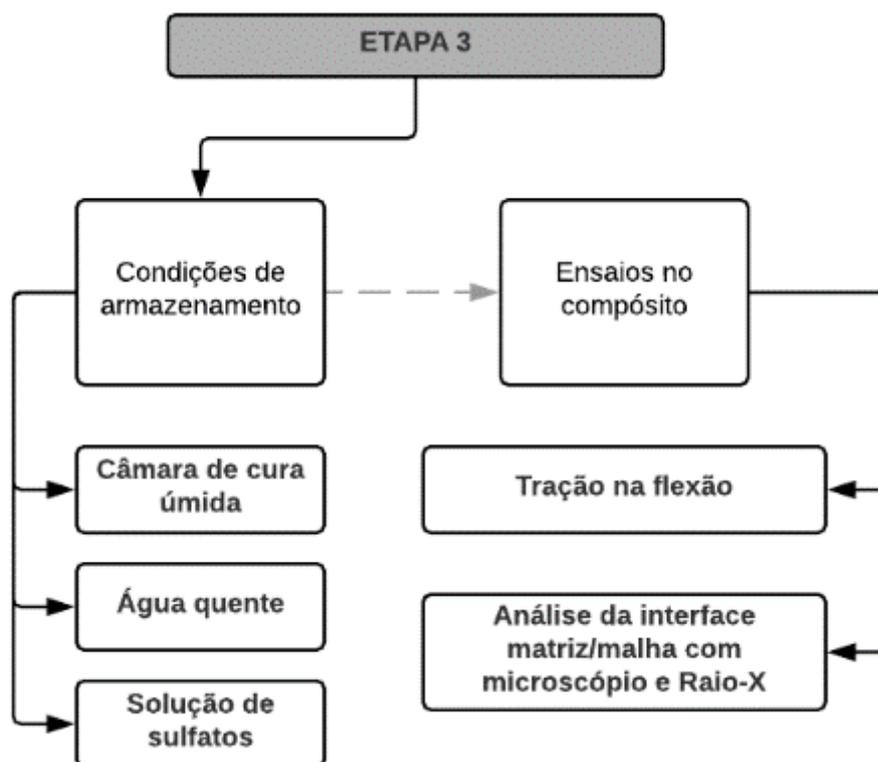
Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois a resistência à compressão aumentou significativamente, atingindo uma resistência superior à 100 MPa. Estes valores também vão de encontro com o que Peled, Bentur e Mobasher (2017) obtiveram em seu estudo.

### 3.3 ETAPA 3

Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos à situações que simulam o comportamento do compósito exposto ao tempo e à agentes agressivos. Por último, foram avaliadas as propriedades mecânicas do compósito estudado, através de ensaios nos corpos de prova produzidos, como se enxerga na Figura 35.

Figura 35 - Etapa 3 do programa experimental



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.3.1 Condições de armazenamento

As amostras produzidas na Etapa 2, foram armazenadas em diferentes condições que simulam o comportamento do compósito quando exposto ao tempo e à agentes agressivos.

#### 3.3.1.1 Cura úmida

Três corpos de prova para cada idade de rompimento (7, 28 e 56 dias) foram armazenados em sala de cura com umidade e temperatura controladas, até completarem as idades antes citadas (Tabela 13).

Estas amostras são as denominadas como referência, pois não foram expostas à nenhum agente agressivo, somente foram armazenadas em ambiente adequado para a cura do concreto.

Tabela 13 - Armazenamento das amostras em câmara úmida

<b>Amostra</b>	<b>Condição de armazenamento</b>	<b>Tempo de armazenamento</b>
CT-REF-7a CT-REF-7b CT-REF-7c	Umidade relativa: 95% Temperatura: 20°C	7 dias
CT-REF-28a CT-REF-28b CT-REF-28c	Umidade relativa: 95% Temperatura: 20°C	28 dias
CT-REF-56a CT-REF-56b CT-REF-56c	Umidade relativa: 95% Temperatura: 20°C	56 dias

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.3.1.2 Solução de sulfatos

Este procedimento foi baseado no estudo de Walther e Curbach (2015). Três corpos de prova para cada idade de rompimento (7, 28 e 56 dias) foram acondicionados em solução agressiva de sulfato de sódio, como determina o estudo, em concentração igual a 29 800 mg SO<sub>4</sub>/l.

As amostras, após desenformadas, foram colocadas em cura em água por oito dias e após, colocadas na solução até completarem as idades acima estabelecidas. A Tabela 14 apresenta as condições de armazenamento das amostras.

Tabela 14 - Armazenamento das amostras em solução de sulfato

<b>Amostra</b>	<b>Condição de armazenamento</b>	<b>Tempo de armazenamento</b>
CT-SULF-7a CT-SULF-7b CT-SULF-7c	20°C, totalmente submersas em solução de sulfato	7 dias
CT-SULF-28a CT-SULF-28b CT-SULF-28c	20°C, totalmente submersas em solução de sulfato	28 dias
CT-SULF-56a CT-SULF-56b CT-SULF-56c	20°C, totalmente submersas em solução de sulfato	56 dias

Fonte: Elaborado pela autora.

A solução de sulfato foi escolhida, porque é um meio prejudicial para o concreto, e se apresenta em ambientes nos quais o concreto têxtil é empregado. A intenção da alta concentração da solução de sulfato foi simular uma exposição prolongada a este poluente com menor concentração, dentro do curto tempo de teste.

### 3.3.1.3 Armazenamento em água quente

Além disso, três corpos de prova para cada idade de rompimento (7, 28 e 56 dias) foram armazenados em água de pH 7 à temperatura de 50°C (submersos), dentro de câmara térmica de vapor à pressão atmosférica, como exemplifica a Tabela 15, conforme indicam os estudos de Walther e Curbach (2015) e Kong et al. (2017).

Este procedimento simula a exposição do concreto têxtil ao longo do tempo, ou seja, induz um envelhecimento acelerado, e visa avaliar a durabilidade do compósito à longo prazo.

Tabela 15 - Armazenamento das amostras em água quente

<b>Amostra</b>	<b>Condição de armazenamento</b>	<b>Tempo de armazenamento</b>
CT-AQ-7a CT-AQ-7b CT-AQ-7c	50°C, totalmente submersas em água	7 dias
CT-AQ-28a CT-AQ-28b CT-AQ-28c	50°C, totalmente submersas em água	28 dias
CT-AQ-56a CT-AQ-56b CT-AQ-56c	50°C, totalmente submersas em água	56 dias

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a desmoldagem, as amostras permaneceram curando por 7 dias em ambiente úmido (95% UR) à temperatura ambiente (20 °C). Após, as amostras foram acondicionadas na água quente.

Os espécimes foram removidos da água quente 24 horas antes do teste de tração na flexão e acondicionados em temperatura ambiente no laboratório, para evitar rachaduras e preservar a hidratação da argamassa.

### **3.3.2 Ensaio no compósito**

Os ensaios que caracterizam as propriedades mecânicas do CT são descritos a seguir. Para os ensaios, foram utilizados os corpos de prova descritos no item 3.3.1.

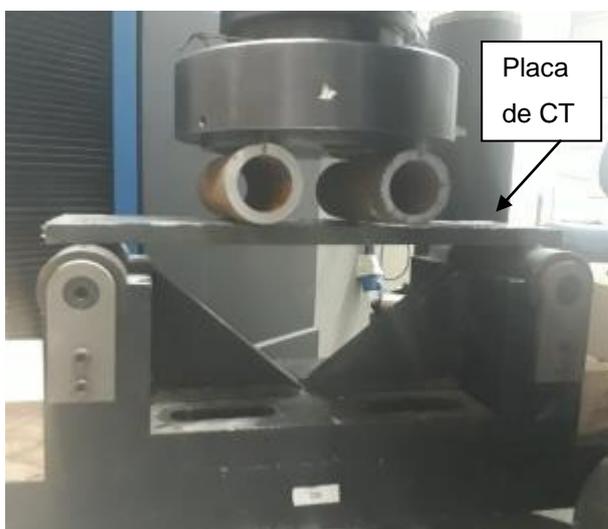
#### **3.3.2.1 Tração na flexão**

A tensão de flexão é a melhor descrição do comportamento do CT em condições reais. O ensaio de tração na flexão de quatro pontos foi realizado segundo a norma ČSN EN 12390-5. (PETRE; ZAPALOWICZ, 2012; VLACH et al., 2018; WANG et al., 2016; HOLSCHEMACHER et al., 2006).

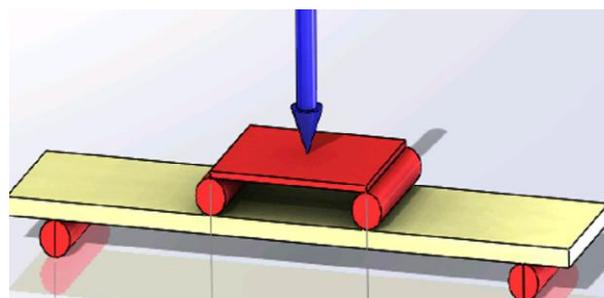
O ensaio foi realizado em uma prensa universal de teste da marca Emic, com velocidade de carga controlada de 5,0 mm por minuto. Este método consiste em 4

pontos, ou seja, dois pontos de apoio e dois pontos de aplicação de carga, como ilustra a Figura 36. A distância entre os centros de suporte é padrão e igual a 100 mm.

Figura 36 - Ilustração da montagem do ensaio



Fonte: Elaborado pela autora.



Fonte: Kong et al. (2017, p.110).

### 3.3.2.2 Análise da interface entre a matriz e a malha e geometria de ruptura da fibra utilizando microscópio

Através das imagens obtidas com um microscópio óptico digital Zeiss, modelo Smart Zoom 5, com magnificação de 101 vezes, foi analisada a interface da matriz cimentícia com a malha de têxtil de fibra de vidro, além de verificar a geometria de ruptura das fibras. As amostras analisadas no microscópio são as regiões rompidas no ensaio de flexão (Figura 37). Foram utilizadas as amostras CT-REF-7 e CT-REF-56, CT-AQ-7 e CT-AQ-56 e CT-SULF-7 e CT-SULF-56.

Figura 37 - Amostra sendo analisada no microscópio



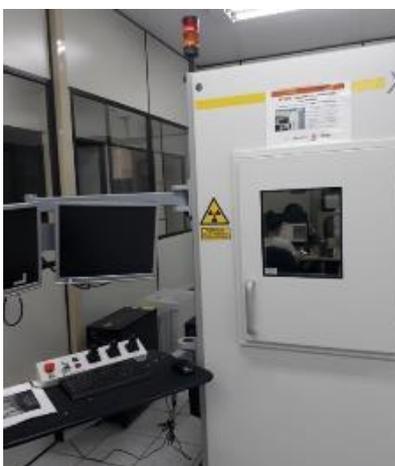
Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.3.2.3 Análise da disposição do reforço têxtil dentro da matriz cimentícia

Como ensaio complementar, as amostras CT-REF-7 e CT-REF-56, CT-AQ-7 e CT-AQ-56 e CT-SULF-7 e CT-SULF-56 foram analisadas em equipamento de inspeção por Raio-X (Figura 38), afim de verificar se há alguma influência da disposição do reforço nos resultados dos ensaios de tração na flexão .

Sabe-se que, não é possível ainda, ter uma precisão exata na hora da moldagem, de que as camadas de reforço têxtil estarão alinhadas.

Figura 38 - Equipamento de inspeção por Raio-X



Fonte: Elaborado pela autora.

## 4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos ensaios realizados com as amostras de CT em diferentes condições de durabilidade.

### 4.1 TRAÇÃO NA FLEXÃO

#### 4.1.1 Concreto referência (CT-REF)

Na Tabela 16, estão expostos os resultados das amostras de CT armazenadas em sala de cura úmida.

Tabela 16 - Resultados do ensaio de tração na flexão das amostras de CT-REF

<b>Idade (dias)</b>	<b>Máximo Força (kN)</b>	<b>Tração na flexão (MPa)</b>	<b>Tração na flexão média (MPa)</b>
7	0,44	5,98	6,08
7	0,5	6,39	
7	0,38	5,86	
28	0,47	7,12	6,48
28	0,43	6,75	
28	0,45	5,57	
56	0,82	12,9	12,71
56	0,87	14,79	
56	0,69	10,43	

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos são satisfatórios, uma vez que há um aumento de resistência até os 28 dias (cura completa do concreto) e após, até a idade de 56 dias. O ganho de resistência aos 56 dias pode ser explicado pelas reações pozolânicas ocorridas em idades mais avançadas

Comparando estes resultados com a bibliografia estudada, percebe-se uma proximidade aos 56 dias, com os valores obtidos por Kong et al. (2017).

#### 4.1.2 Concreto armazenado em água quente (CT-AQ)

Na Tabela 17, estão expostos os resultados das amostras de CT armazenadas em água quente à 50°C.

Tabela 17 - Resultados do ensaio de tração na flexão das amostras de CT-AQ

Idade (dias)	Máximo Força (kN)	Tração na flexão (MPa)	Tração na flexão média (MPa)
7	0,47	6,67	7,41
7	0,54	8,14	
28	0,36	4,96	5,32
28	0,38	5,29	
28	0,41	5,71	
56	0,62	8,84	8,09
56	0,51	7,34	

Fonte: Elaborado pela autora.

Como esperado considerando estudos já realizados por outros autores, os valores de resistência à tração na flexão diminuíram à medida que aumentou o tempo de exposição das amostras. Observa-se um decaimento de 28% de resistência da idade de 7 para 28 dias, ao passo que, aos 56 dias, houve um incremento de 9% de resistência

A diminuição na resistência à tração na flexão dos 7 dias até os 28 dias é coerente com o estudo de Butler, Mechtcherine e Hempel (2009), que explicam perdas de até 40%.

O aumento da resistência à flexão do CT-AQ-56 é coerente com o estudo de Kong et al. (2017), que explica um aumento de resistência até os 90 dias e posterior decaimento.

#### 4.1.3 Concreto armazenado em solução de sulfato (CT-SULF)

Na Tabela 18, estão expostos os resultados das amostras de CT armazenadas em solução de sulfato.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de tração na flexão das amostras de CT-SULF

<b>Idade (dias)</b>	<b>Máximo Força (kN)</b>	<b>Tração na flexão (MPa)</b>	<b>Tração na flexão média (MPa)</b>
7	0,45	6,20	6,74
7	0,48	6,69	
7	0,51	7,32	
28	0,5	7,01	6,6
28	0,45	6,19	
56	0,87	12,49	12,67
56	1,09	15,50	
56	0,70	10,01	

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar que com 28 dias de exposição, a amostra perdeu 2% de resistência à tração na flexão em relação à idade de 7 dias, ao passo que aos 56 dias, houve um aumento de 88% em relação à idade de 7 dias.

É possível constatar um comportamento similar do CT-SULF e do CT-REF, o que indica que as amostras armazenadas em sulfato não foram atacadas pela solução.

## 4.2 ANÁLISE MICROSCÓPICA

### 4.2.1 Análise da interface matriz cimentícia e reforço têxtil

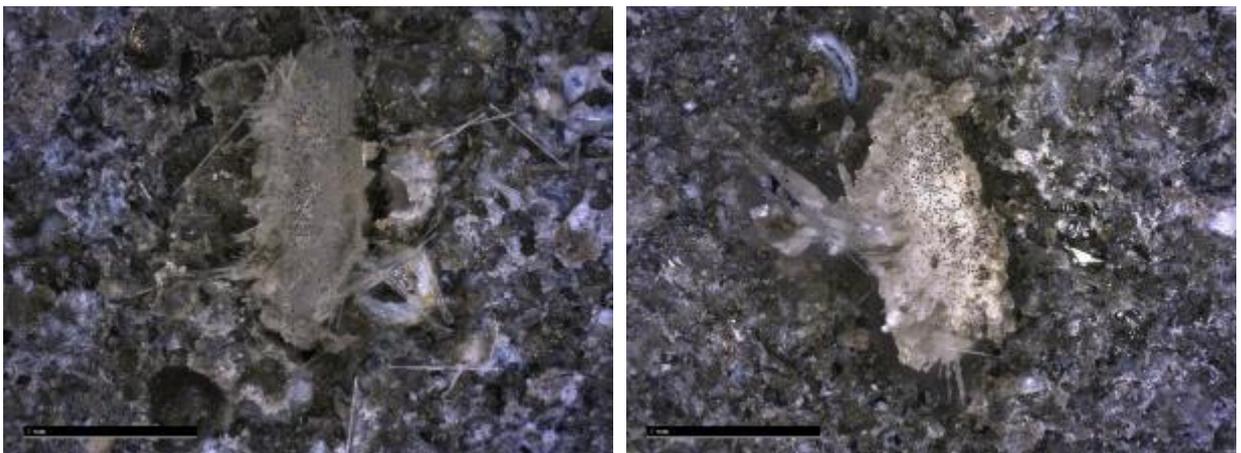
Figura 39 - Imagem obtida da amostra CT-REF



Fonte: Elaborado pela autora.

A amostra analisada na Figura 39 é de CT-REF. Notam-se pequenos vazios na interface entre a fibra e a matriz cimentícia, o que se torna algo negativo para o desempenho mecânico que a fibra deve resistir, uma vez que não há uma completa aderência entre o têxtil e a matriz.

Figura 40 - Imagens obtidas das amostras CT-AQ



CT-AQ-7

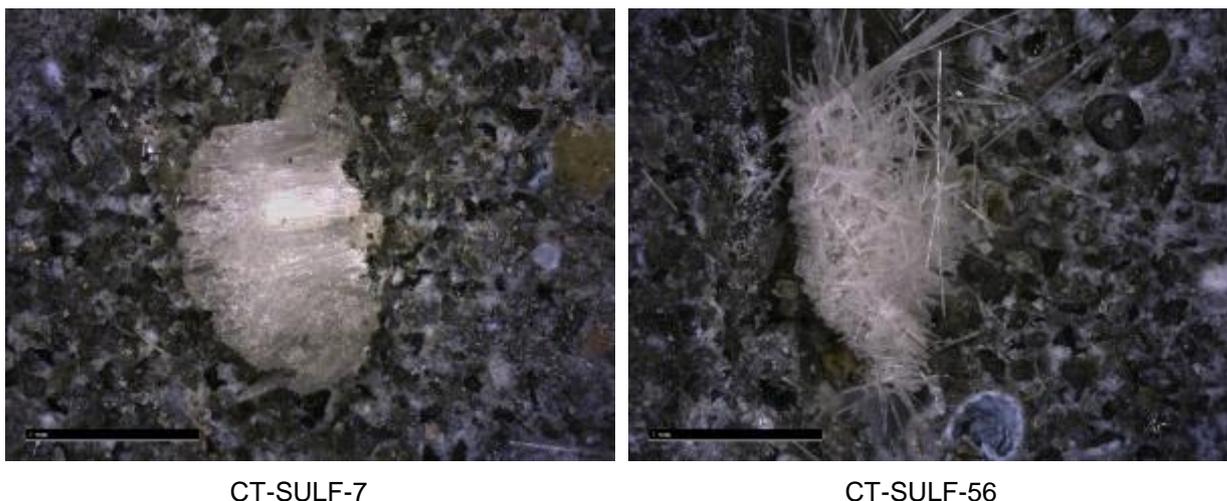
CT-AQ-56

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 40, é possível perceber que há um aumento na borda de cor escura da amostra que permaneceu 56 dias em imersão em água quente quando comparada com a amostra que permaneceu somente 7 dias imersa. Esta borda, como abordado pela bibliografia, é a mineralização da interface e o que há no espaço que antes eram vazios, são os produtos da hidratação do concreto. Estes produtos aumentam a ligação matriz-fibra, o que é prejudicial para o comportamento mecânico do compósito.

É possível destacar que o CT-REF aos 7 dias de cura, não possui os poros preenchidos, ao passo que o CT-AQ-7 sim. Isto acontece, pois a água quente auxilia a cura do concreto, que acontece mais rapidamente do que quando colocada em cura úmida.

Figura 41 - Imagens obtidas das amostras CT-SULF



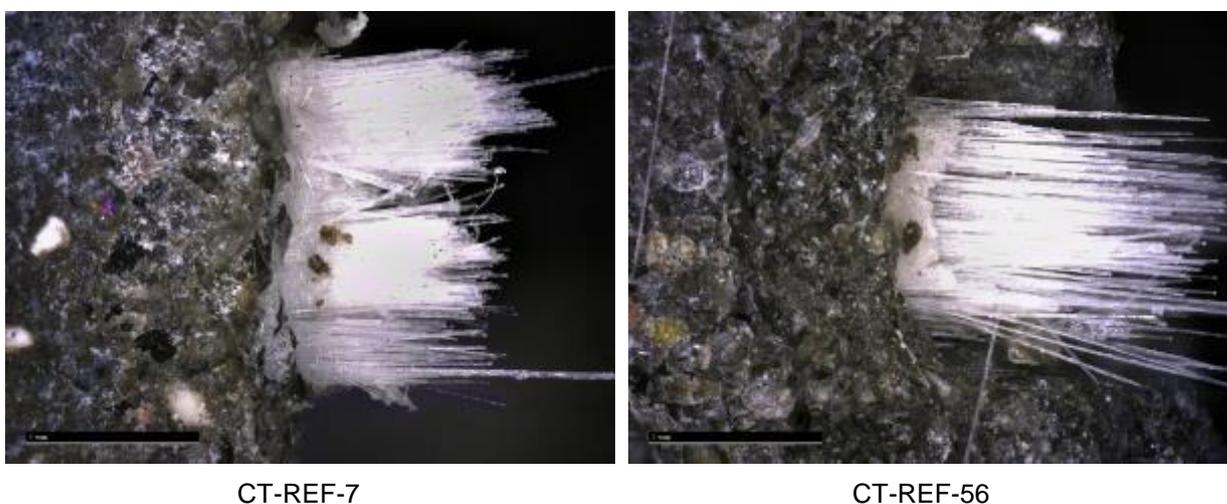
Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 41 apresenta as amostras de CT-SULF no que tange à interface fibra-matriz. Observa-se que a amostra que permaneceu 7 dias em solução de sulfato apresenta uma boa ligação entre os filamentos da fibra, enquanto que a que permaneceu 56 dias apresenta filamentos dispersos. Ademais, é possível observar que não houve a mineralização da interface entre a fibra e a matriz nas amostras e os poros permanecem sem preenchimento. A interface apresenta pequenos vazios, iguais aos observados na amostra de CT-REF.

#### 4.2.2 Análise da geometria de ruptura do reforço têxtil

De acordo com as Figuras 42, 43 e 44, é possível observar que, somente as amostras armazenadas em solução de sulfato e amostra CT-REF-7 apresentaram uma ruptura frágil, enquanto que as amostras referência e as armazenadas em água quente apresentaram ruptura filamentosa (pseudo-dúctil).

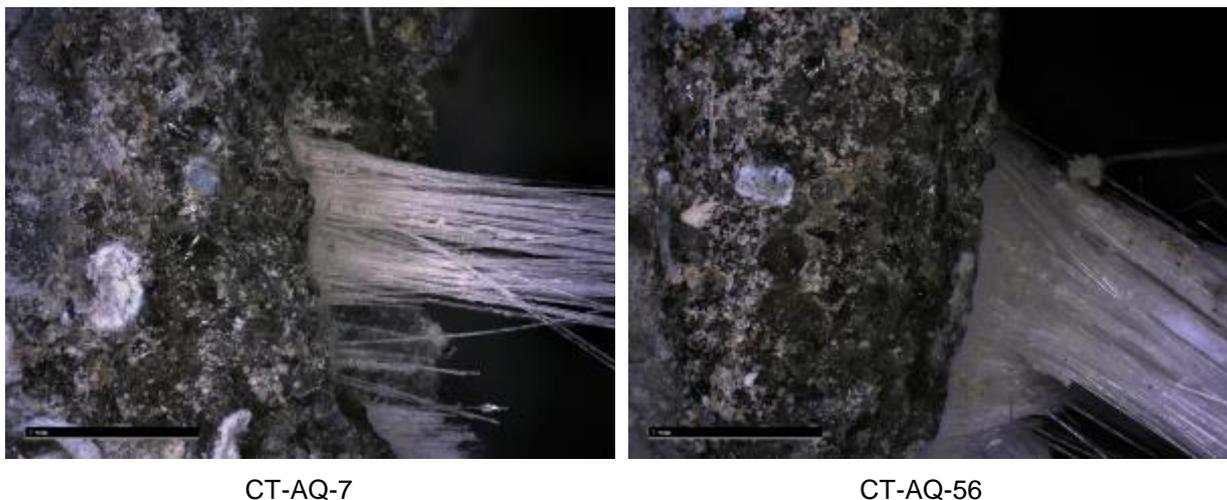
Figura 42 - Amostra CT-REF



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a Figura 42, a amostra CT-REF-7 apresenta quebra frágil (brusca), enquanto que na amostra CT-REF-56, a borda é completamente aleatória, o que sugere que a ligação matriz-fibra estava muito bem consolidada, o que fez com que a fibra se estendesse ao máximo, sem deslizar, antes de romper. Primeiramente, romperam os filamentos da parte externa da fibra e posteriormente, da parte interna.

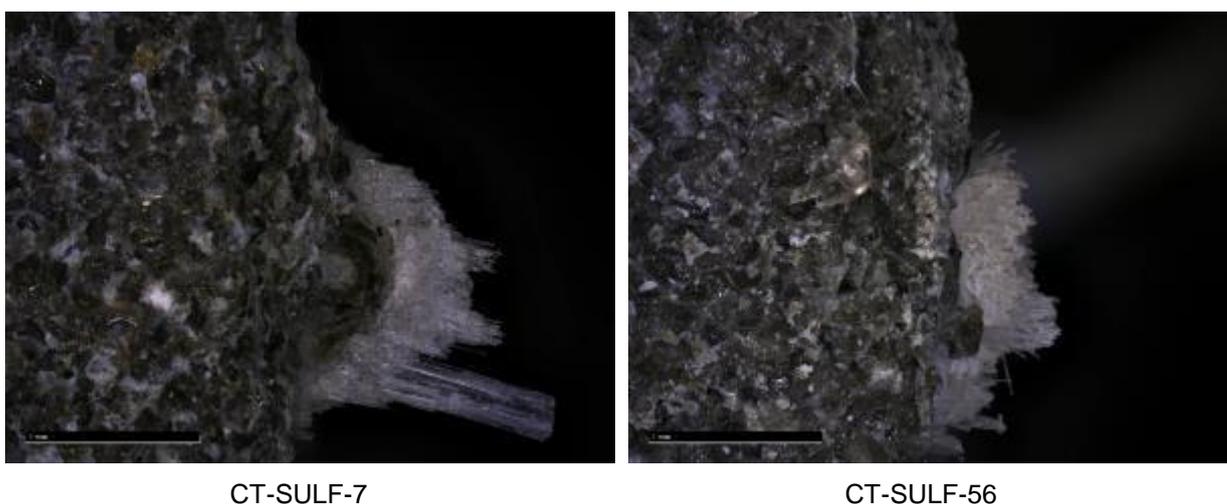
Figura 43 - Amostra CT-AQ



Fonte: Elaborado pela autora.

Nas amostras CT-AQ (Figura 43) é possível observar um comportamento similar ao observado na amostra CT-REF-56, ou seja, a carga aplicada ao espécime acionou todos os filamentos da fibra antes do rompimento. Houve a mineralização da interface matriz-fibra já nas primeiras idades, o que explica o comportamento de ruptura.

Figura 44- Amostra CT-SULF



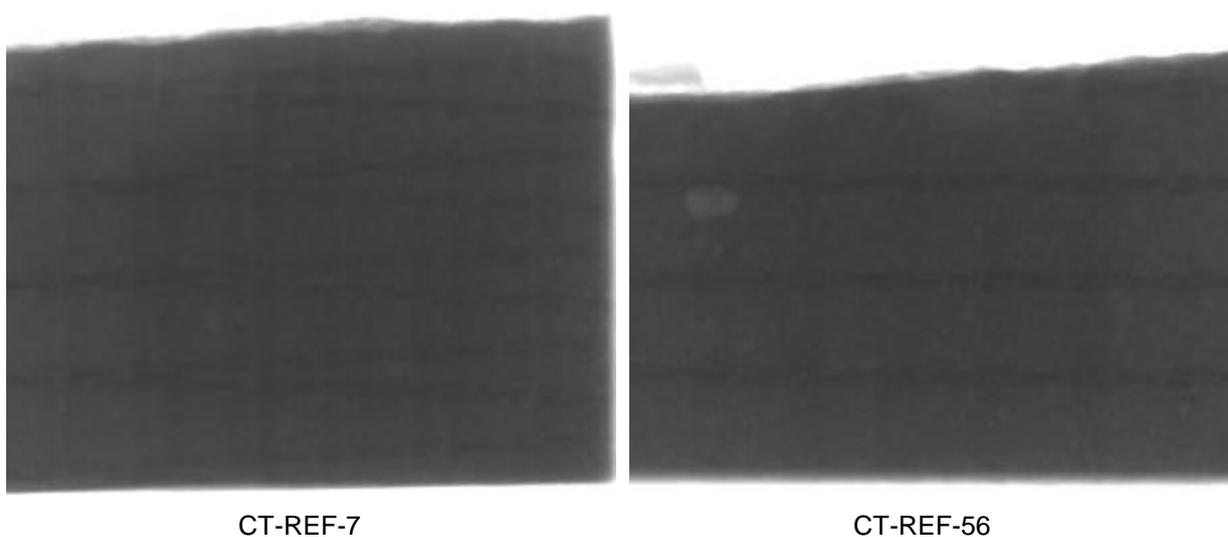
Fonte: Elaborado pela autora.

As amostras CT-SULF-7 e CT-SULF-56 apresentaram comportamento idêntico entre si. Como é possível observar na Figura 44, a ruptura da fibra se deu de maneira frágil para estas amostras.

### 4.2.3 Análise da disposição do reforço têxtil no interior da matriz cimentícia

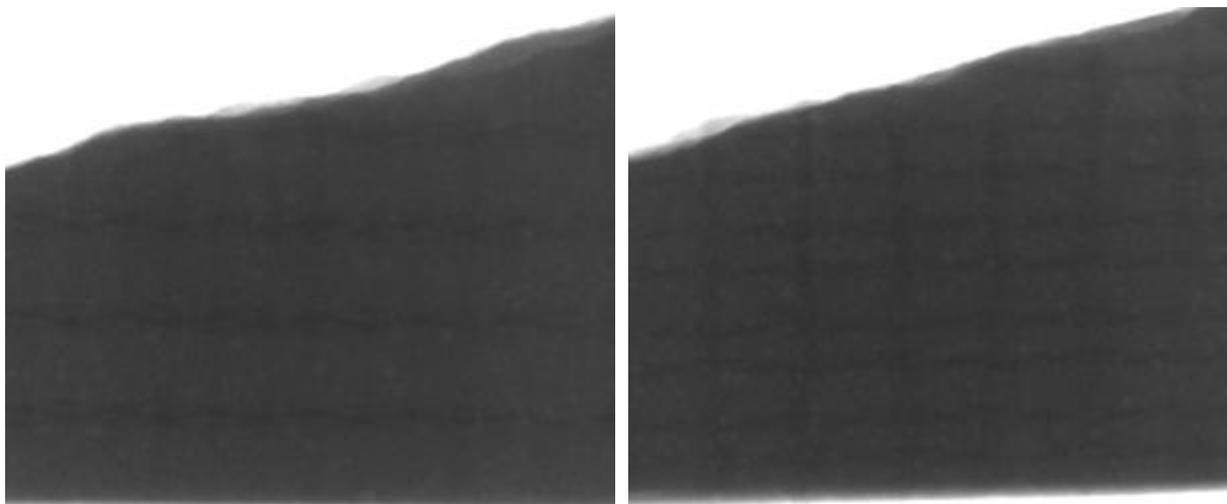
O ensaio de inspeção por Raio-X demonstrou o alinhamento entre as duas malhas têxteis utilizadas no compósito, conforme imagens obtidas e apresentadas nas Figuras 45, 46 e 47.

Figura 45 - Disposição do têxtil nas amostras de CT-REF



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 46 - Disposição do têxtil nas amostras de CT-AQ

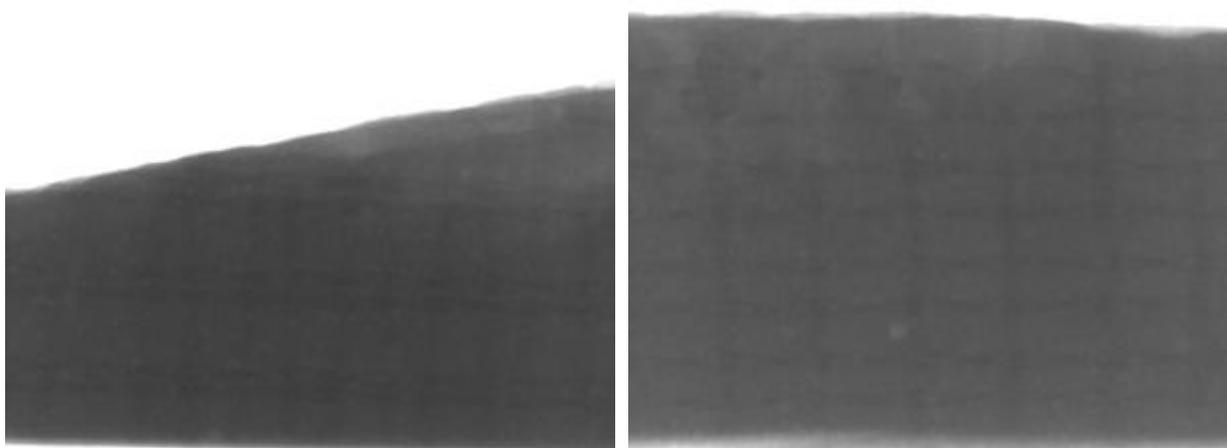


CT-AQ-7

CT-AQ-56

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 47 - Disposição do têxtil nas amostras de CT-SULF



CT-SULF-7

CT-SULF-56

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando as amostras percebe-se que as amostras CT-REF-7, CT-AQ-56 e CT-SULF-7 apresentam os dois têxteis bem desalinhados, nas direções vertical e horizontal, ao passo que nas amostras CT-REF-56, CT-AQ-7 e CT-SULF-56 as malhas estão dispostas de maneira ordenada.

A amostra CT-REF-7, seguida da amostra CT-SULF-7 apresentaram os menores resultados de resistência à tração na flexão para a idade de rompimento de 7 dias. Estas duas amostras possuem os reforços têxteis desalinhados.

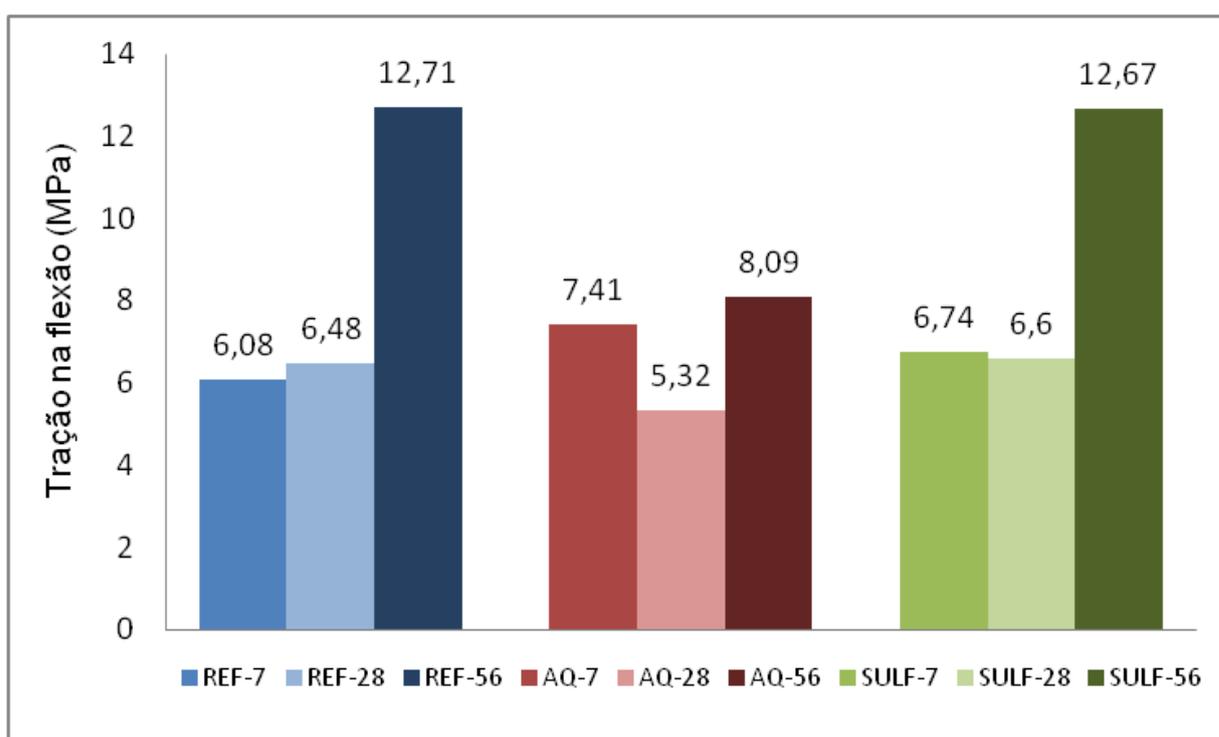
A amostra CT-AQ-56, que também possui as malhas desalinhadas, obteve a menor resistência à tração na flexão para a idade de rompimento de 56 dias, sendo igual a 8,09 MPa.

Como esperado, quando as malhas não estão alinhadas, há uma perda na resistência à tração na flexão, pois elas não são solicitadas de maneira igual e ao mesmo tempo.

#### 4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores de resistência à tração na flexão estão coerentes com a literatura.

Figura 48 - Comparativo das resistências de tração na flexão das amostras analisadas, por condição de armazenamento.

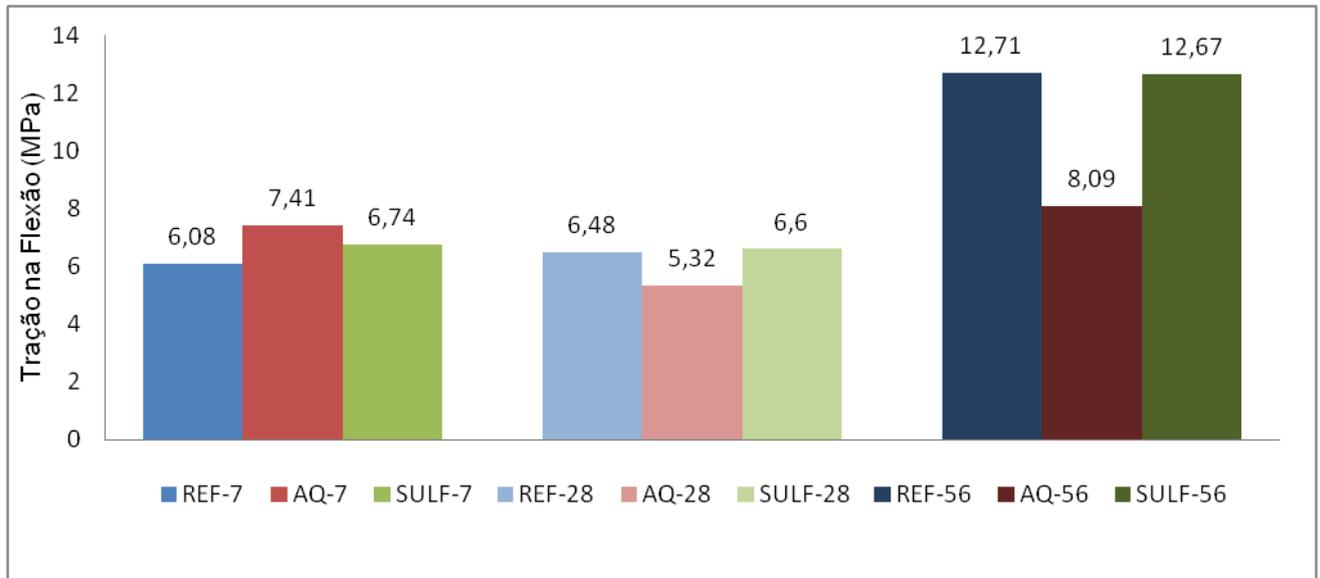


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 48 apresenta um comparativo das amostras analisadas por condição de armazenamento. É possível perceber que as amostras CT-REF e CT-SULF obtiveram resultados idênticos ao final dos experimentos, o que comprova o não

ataque dos sulfatos no compósito e a durabilidade da matriz. O CT-AQ apresentou o pior desempenho, corroborando com a bibliografia estudada.

Figura 49 - Comparativo das resistências de tração na flexão das amostras analisadas, por idade.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 49 apresenta um comparativo das amostras analisadas por idade. Percebe-se que as amostras obtiveram resultados similares nas idades de 7 e 28 dias. Aos 56 dias, houve um aumento de quase 40% das amostras CT-REF e CT-SULF em relação à amostra CT-AQ.

Como explica Kong et al. (2017), o processo de hidratação do concreto é acelerado com a alta temperatura da água, pois há um bloqueio dos poros com a formação dos cristais de hidrato. Nos espécimes armazenados em água quente e analisados por microscópio, esta explicação se torna muito plausível. O CT-AQ-7 obteve os poros da interface entre a malha e a matriz preenchidos, enquanto que as outras amostras, aos sete dias, não apresentaram este fenômeno.

O aumento da resistência à flexão do CT-AQ-56 é coerente com o estudo de Kong et al. (2017), que explica um aumento de resistência até os 90 dias e posterior decaimento. A diminuição na resistência do CT-AQ, dos 7 dias até os 28 dias, de 30% é coerente com o estudo de Butler, Mechtcherine e Hempel (2009), que explicam perdas de até 40%.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar se há deterioração em condições aceleradas do CT, que prejudique as propriedades mecânicas do compósito.

Analisando a interface entre a matriz e os reforços têxteis através de ensaios microscópicos, observou-se que a hidratação do concreto de cimento Portland, colmata os poros da região matriz-fibra, o que torna a zona mais rígida e faz com que a fibra perca parte de seu desempenho quando solicitada por ensaio mecânico de tração na flexão, diminuindo a resistência do compósito.

Quanto ao desempenho mecânico devido à disposição das malhas de reforço têxtil dentro da matriz, observou-se que nas amostras em que as malhas que não estão alinhadas horizontal e verticalmente, a resistência à tração na flexão é menor.

Além destas investigações, foi possível avaliar a propriedade mecânica do têxtil utilizado para o ensaio e os resultados obtidos estão são coerentes e satisfatórios quando comparados com a bibliografia.

Em situações de exposição à sulfatos, se a matriz for dimensionada para isto, com baixa relação água/aglomerante, o reforço não irá perder as suas propriedades, uma vez que não será atingido pela solução de sulfato.

Em relação ao envelhecimento à longo prazo, percebe-se a degradação do material exposto à água quente. Desta maneira, mais estudos precisam ser realizados para compreensão correta e desenvolvimento de técnicas que auxiliem na proteção do reforço.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para continuação da pesquisa, com base nos resultados obtidos e delimitações apresentadas, sugere-se os seguintes tópicos:

- a) Avaliar a influência da alcalinidade da matriz no desempenho do compósito.
- b) Realizar uma amostragem maior, com maior tempo de exposição às condições de agressividade.
- c) Acondicionar as amostras em soluções ácidas e verificar o seu desempenho.

## REFERÊNCIAS

AMANAC. **Materiais de Concreto e Alvenaria**. Disponível em: <<http://amanac.eu/site/wp-content/uploads/2015/09/Gallery-template-HHOUSE-Textile-Reinforced-Concrete.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 13934**: Têxteis - Propriedades de tração de tecidos - Parte 1: Determinação da força máxima e alongamento à força máxima utilizando o método de tira. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 15900-1**: Água para amassamento do concreto: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ANDRADE Y PERDRIX, MARIA CARMEN. **Manual para diagnostico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo, PINI, 1992.

BAUNETZ WISSEN. **Textilbeton**. Berlim, 2018. Disponível em: <<https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/betonarten/textilbeton-841665>>. Acesso em: 23 out. 2018.

BENTUR, A.; MINDNESS, S., 2007 apud PELED, A.; BENTUR, A.; MOBASHER, B. **Textile Reinforced Concrete**. 1. ed. Taylor & Francis, 2017. 473 p.

BIANCHINI, M. **Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora de concreto**. Curitiba. 2010. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Setor de tecnologia, Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Brasil.

BOURNAS, D. Strengthening of existing structures: Selected case studies. In: TRIANTAFILLOU, T. **Textile Fibre Composites in Civil Engineering**. 1. ed. Duxford: Woodhead Publishing, 2016. Cap. 17, p. 389-411.

BRAMESHUBER, W.; BROCKMANN, T. Introduction. **Report 36: Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC**. RILEM publications, 2006.

BUTLER, M.; MECHTCHERINE, V.; HEMPEL, S. Durability of textile reinforced concrete made with AR glass fibre: effect of the matrix composition. **Materials and structures**, v. 43, n. 10, p. 1351-1368, 2010.

COLIANTE, J. G. R. **Cura térmica em argamassas de concreto de alto desempenho: Caracterização da microestrutura e da resistência à compressão**. Porto Alegre. 2013. 93p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

COLOMBO, I. et al. Erratum to: Textile Reinforced Concrete: experimental investigation on design parameters. **Materials and Structures**, v. 46, n. 11, p. 1953–1971, 2013.

CONTAMINE, R.; SI LARBI, A.; HAMELIN, P. Contribution to direct tensile testing of textile reinforced concrete (TRC) composites. **Materials Science and Engineering A**, v. 528, n. 29–30, p. 8589–8598, 2011.

D'ALMEIDA, A. L. F. S.; TOLEDO FILHO, R. D.; MELO FILHO, J. A. Bending behaviour of cement based composites reinforced with jute textile. In: **MATSCI-International RILEM Conference on Material Science**. RILEM Publications SARL, 2010. p.177-184.

DENARDI, A. **Concreto têxtil: Uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimentos, aplicações e perspectivas de estudos e empregos no Brasil.** 2016. 106 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DE SOUZA E RIPPER. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, PINI, 1998.

DUTRA, V. F. P. et al. **Concreto Têxtil: Desenvolvimentos e Perspectivas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59, 2017, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2017.

GOLDFELD, Y. et al. Integrated monitoring of TRC using carbon fibres. In: **ICTRC'2015-3st International Conference Textile Reinforced Concrete.** RILEM Publications SARL, 2015. p. 327-334.

GRIES, et al. Textiles. **Report 36: Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC.** RILEM publications, 2006. Cap. 3, p. 11-27.

HEGGER, J. et al. Composite Materials. **Report 36: Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC.** RILEM publications, 2006. Cap. 6,p. 133-186.

HELENE, PAULO R. L. **Corrosão de armaduras para concreto armado.** São Paulo, PINI, 1986.

HERING ARCHITECTURAL CONCRETE. **References.** Burbach, 2018. Disponível em: <<https://www.heringinternational.com/en/products-services/architectural-concrete/material-concepts/textile-reinforced-concrete/betoshellrsandwich/>>. Acesso em: 23 out. 2018.

HOLSCHMACHER, K. et al. Textile reinforced slabs and prefabricated double walls. In: **ICTRC'2006-1st International Conference Textile Reinforced Concrete.** RILEM Publications SARL, 2006. p. 319–330.

KONG, K. et al. Comparative characterization of the durability behaviour of textilereinforced concrete (TRC) under tension and bending. **Composite Structures**, p.107-123, 2017.

KULAS, C. et al. Hinterlüftete Vorhangfassaden aus Textilbeton - Tragverhalten und Ausführung. **Bautechnik**, v.88, n. 5, p. 271-280, 2011.

KULISCH, D. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto**. Curitiba. 2011. 109p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Brasil.

LIEBOLDT, M.; HELBIG, U.; ENGLER, T. Textile reinforced concrete multilayer composite pipes. In: **ICTRC'2006-1st International RILEM Conference on Textile Reinforced Concrete**. RILEM Publications SARL, 2006. p. 369-378.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

MOBASHER, B. et al. Thermal and mechanical characterization of contiguous wall systems for energy efficient low-cost housing. In: **ASME 2011 5th International Conference on Energy Sustainability**. American Society of Mechanical Engineers, 2011. p. 1909-1915.

MOBASHER, B. Textile fiber composites: Testing and mechanical behavior. In: TRIANTAFILLOU, T. **Textile Fibre Composites in Civil Engineering**. 1. ed. Duxford: Woodhead Publishing, 2016. Cap. 5, p. 101-150.

MUMENYA, S. W.; TAIT, R. B.; ALEXANDER, M., G. Mechanical behaviour of Textile Concrete under accelerated ageing conditions. **Cement & Concrete Composites**, p.580-588, 2010.

NAAMAN, A. E. Textile Reinforced cement composites: Competitive status and research directions. In: **MATSCI-I International RILEM Conference on Material Science**. RILEM Publications SARL, 2010. p.3-22.

ORTOLAN et al. **Análise da influência geométrica de fibra de vidro AR na matriz cimentícia de GRC.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59, 2017, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2017.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto & Construções**, v. XXXVII, n. 53, p. 14–19, 2009.

PELED, A.; BENTUR, A.; MOBASHER, B. **Textile Reinforced Concrete.** 1. ed. Taylor & Francis, 2017. 473 p.

PETRE, D.; ZAPALOWICZ, I. **Analysis of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforcement - Non-linear finite element analysis.** Suécia. 2012. p.66. Master of Science Thesis in the Master's Programme. Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering, Concrete Structure, Chalmers University of Technology, Göteborg / Sweden.

PORTAL, N. W. et al. **Durability study of textile fibre reinforcement.** In: BIENNIAL CONFERENCE OF THE CONCRETE INSTITUTE OF AUSTRALIA, 27, 2015, Melbourne. **Artigo.** Melbourne, 2015.

PURNELL et al. Durability. **Report 36: Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC.** RILEM publications, 2006. Cap. 6.3, p. 187-210.

RAUPACH, M.; CRUZ, C. Textile-reinforced concrete: Selected case studies. In: TRIANTAFILLOU, T. **Textile Fibre Composites in Civil Engineering.** 1. ed. Duxford: Woodhead Publishing, 2016. Cap. 12, p. 275-299.

REGÁS, F. J.; BOLAÑOS, J. C. **Piedra moldeada - Grc y hormigón arquitectónico.** Barcelona, IECA, 2007.

REINHARDT, H. W.; KRÜGER, M.; GROSSE, C. U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 1, n. 3, p. 231–239, 2003.

REPETTE, W. L. Concreto autoadensável. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. p. 1769–1806.

RILEM TECHNICAL COMMITTEE 232-TDT. Recommendation of RILEM TC 232-TDT: test methods and design of textile reinforced concrete: Uniaxial tensile test: test method to determine the load bearing behavior of tensile specimens made of textile reinforced concrete. **Materials and Structures**, v. 49, p. 4923-4927, 2016.

SCHEERER, S.; SCHLADITZ, F.; CURBACH, M. Textile reinforced concrete - From the idea to a high performance material. In: **ICTRC'2015-3st International Conference Textile Reinforced Concrete**. RILEM Publications SARL, 2015. p. 15-34.

SCHÜTZE, E.; LORENZ, E.; CURBACH, M. Test methods for textile reinforced concrete. In: **ICTRC'2015-3st International Conference Textile Reinforced Concrete**. RILEM Publications SARL, 2015. p.307-318.

SHAMS, A.; HEGGER, J.; HORSTMANN, M. An analytical model for sandwich panels made of textile-reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v.64, p. 451-459, 2014.

SOLIDIAN. **Textile-reinforced concrete is opening new avenues for design**. Albstadt, 2018. Disponível em: <<https://www.solidian.com/en/textile-reinforced-concrete/formability>>. Acesso em: 23 out. 2018.

TEXIGLASS INDÚSTRIA E COMÉRCIO TÊXTIL LTDA. Laudo de análise – **AR 192 – RA 06**. São Paulo, 2018.

TECNOSIL. **Sílica ativa**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa/>>. Acesso em: 9 nov. 2018.

TRIANAFILLOU, T. **Textile Fibre Composites in Civil Engineering**. 1. ed. Duxford: Woodhead Publishing, 2016. 452 p.

VLACH, T. et al. Soft Insert for Support Modeling of Slightly Textile Reinforced Concrete. In: **Key Engineering Materials**. Trans Tech Publications, 2018. p. 158-163.

VOSS, S.; HEGGER, J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. In: **ICTRC'2006-1st International Conference Textile Reinforced Concrete**. RILEM Publications SARL, 2006. p. 151–160.

WALTHER, T.; CURBACH, M. Textile reinforced concrete for sewer rehabilitation. In: **ICTRC'2015-3st International Conference Textile Reinforced Concrete**. RILEM Publications SARL, 2015. p. 277–286

WANG, B. et al. Study on the mechanical property of textile reinforced self-stressing concrete sheets. **Construction and Building Materials**, v. 107, p. 1–10, 2016.

WBCSD; IEA. **Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reductions up to 2050**. França. 2009. p. 36.

ŽÁK, J; ŠTEMBERK, P. E VODIČKA, J. Production of a textile reinforced concrete protective layers with non-woven polypropylene fabric. In: **Materials Science and Engineering**. 2017, p. 1-6.