

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

BRUNA ADRIANE SERRA

CONCRETO TÊXTIL E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL:
Comparativo entre Metodologias de Dimensionamento de uma Passarela

São Leopoldo
2018

BRUNA ADRIANE SERRA

**CONCRETO TÊXTIL E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL:
Comparativo entre Metodologias de Dimensionamento de uma Passarela**

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

Orientador: Prof. Ms. Diego Schneider

São Leopoldo
2018

Aos meus pais, irmão, avós e família por todo apoio, carinho e compreensão nessa jornada importante da minha vida profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Elisiane e Vladimir, e meu irmão, Felipe, por todo apoio, carinho, conforto, compreensão e incentivo no decorrer desse longo período de dedicação, acompanhando e incentivando diariamente todo esforço não só para com este trabalho, mas também em todo período acadêmico. Obrigada por me ajudarem a conquistar esse sonho.

Agradeço ao Professor Ms. Diego Schneider por toda paciência, dedicação, orientação e apoio no decorrer deste trabalho, compartilhando informações e conhecimentos, e transmitindo confiança e segurança durante esta etapa.

Sou grata aos meus avós, toda minha família e amigos pelo apoio e compreensão de minha ausência durante o período de dedicação deste trabalho.

À minha amiga e irmã de coração, Tanise, que me apoiou incondicionalmente durante esta etapa, proporcionando suporte a qualquer momento. Assim como a preocupação para comigo a todo tempo e também pela amizade que prezo.

Ao meu amigo, Vitor, que me deu suporte e me auxiliou com materiais importantíssimos para realização deste trabalho, bem como pela preocupação e amizade.

À minha amiga e colega, Poliana, por todos os momentos e apoio dentro e fora da sala de aula em toda a graduação, pela parceria de estudos, pela dedicação à nossa amizade, pela preocupação para comigo tanto na vida acadêmica como pessoal e pela companhia de chimarrão.

À minha amiga e colega, Bibiana, pela amizade e apoio em toda essa jornada, por ser parceira nas horas de chimarrão, nos momentos de estudo, nos momentos de desabafo e de alegria.

Aos meus colegas e amigos, Rafael, Magno e Filipe, por todo apoio e parceria durante os momentos de estudos, trabalhos e descontração.

Às minhas amigas, Dannyele e Érica, que se tornaram amigas essenciais após uma longa jornada de trabalho juntas, e que contribuíram com seus conhecimentos nessa minha trajetória.

Agradeço também a todos os professores e profissionais da Unisinos que dedicaram seu tempo para partilhar seus conhecimentos e contribuir com a minha formação ao longo da etapa acadêmica.

RESUMO

O Concreto Têxtil – também conhecido internacionalmente como *Textile Reinforced Concrete (TRC)* – é um material reforçado inovador que está ainda em estudo para compor elementos estruturais. Este material se diferencia do concreto armado por ser composto por uma matriz cimentícia de agregados de granulometria menor que 2 mm e, principalmente, por possuir reforços de fibras em formatos têxteis ou malhas. Porém, a necessidade de literaturas estrangeiras se faz presente devido o mesmo encontrar-se em processo inicial em âmbito nacional. O presente trabalho propõe o dimensionamento de uma passarela de pedestres em concreto têxtil, bem como em concreto armado para que seja possível a realização de uma análise e uma comparação entre o dimensionamento dos dois materiais, a fim de aprofundar os conhecimentos no comportamento mecânico do concreto têxtil. Para o dimensionamento foi considerado apenas a mesoestrutura da passarela com propósito de focar nas características dos materiais. Logo, com base nos resultados obtidos através dos dimensionamentos, o estudo apresenta uma análise e uma comparação simplificadas de alguns aspectos dos materiais propostos, tais como, a diferença entre cargas e flechas admitidas, pesos próprios, quantitativos e custos aproximado de materiais. Nestas análises, concluiu-se que o consumo de concreto para o concreto têxtil reduz em, aproximadamente, 30% em relação ao concreto convencional, e o consumo do reforço têxtil é, aproximadamente, 80% menor que o reforço em aço.

Palavras-chave: Concreto. Têxtil. Dimensionamento. Passarela. Fibras. Tecidos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concreto reforçado com fibras curtas	12
Figura 2 - Reforços para concreto.....	12
Figura 3 - Esquema de concentração de tensões para um concreto sem e com reforço de fibras	18
Figura 4 – Concreto reforçado com fibras têxteis (a) 2D em diversas camadas; (b) e (c) 3D camada única	19
Figura 5 - Reforço de concreto têxtil (CT) em estrutura de concreto convencional (CC).....	28
Figura 6 – Painéis de Fachada no Instituto de Concreto Estrutural na RWTH Aachen University: vistas (a; b), seção (c)	29
Figura 7 – Imagem do Google Maps de Cachoeirinha - RS: Localização da passarela	47
Figura 8 – Projeto da rodovia com a proposta da passarela	48
Figura 9 – Seção transversal proposta para concreto armado.....	49
Figura 10 – Seção transversal proposta para concreto têxtil (CT)	49
Figura 11 – Modelo estrutural com carregamento adotado para passarela em concreto armado	53
Figura 12 – Diagrama de esforço cortante da passarela em concreto armado (em kN)	54
Figura 13 – Diagrama de momento fletor da passarela em concreto armado (em kNm).....	54
Figura 14 – Modelo estrutural com carregamento adotado para passarela em concreto têxtil (CT)	58
Figura 15 – Diagrama de esforço cortante da passarela em concreto têxtil (CT) (em kN).....	59
Figura 16 – Diagrama de momento fletor da passarela em concreto têxtil (CT) (em kNm).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da matriz cimentícia e propriedades do concreto M9-15.....	31
Tabela 2 - Propriedades do concreto M9-15 fresco	32
Tabela 3 - Coeficientes	33
Tabela 4 - Combinações de serviço	38
Tabela 5 - Combinações de serviço	39
Tabela 6 - Fator de eficiência k_1	43
Tabela 7 - Coeficiente de carregamento à flexão $k_{fl,p}$	44
Tabela 8 – Valores Característicos do reforço	60
Tabela 9 -Comparativo de esforço cortante, momento fletor e flechas	65
Tabela 10 – Comparativo entre peso próprio e espessura da passarela	65
Tabela 11 - Comparativo de quantitativo de materiais	66
Tabela 12 - Comparativo de custo de materiais	66

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR	Álcali Resistente
CC	Concreto Convencional
CT	Concreto Têxtil
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
ELS	Estado-Limite de Serviço
ELU	Estado-Limite Último
ISF	Instrução de Serviço Ferroviário
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PAN	Poliacrilonitrila
SiO ₂	Silica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO INICIAL	11
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 DELIMITAÇÃO	14
1.5 LIMITAÇÕES	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 CONCRETO	16
2.2 ELEMENTOS DE REFORÇO	17
2.2.1 Concreto Armado Convencional	17
2.2.2 Concreto Têxtil	18
2.2.2.1 Matriz Cimentícia.....	20
2.2.2.2 Reforço Têxtil	20
2.2.2.2.1 <i>Fibras de Vidro AR</i>	22
2.2.2.2.2 <i>Fibras de Carbono</i>	22
2.2.2.2.3 <i>Fibras de Aramida</i>	23
2.3 CARACTERÍSTICAS.....	23
2.3.1 Comportamento Mecânico	25
2.3.2 Durabilidade	25
2.3.2.1 Durabilidade da Matriz Cimentícia.....	26
2.3.2.2 Durabilidade das Fibras Têxteis	26
2.3.2.3 Durabilidade de Ligação Fibra-matriz.....	27
2.3.3 Sustentabilidade	27
2.4 ESTUDOS DE CASO	28
2.5 REFERENCIAL NORMATIVO.....	30
2.5.1 Passarela	30
2.5.2 Determinação das Cargas	31
2.5.3 Dimensionamento Concreto Armado	32
2.5.3.1 Estado-Limite Último	32
2.5.3.1.1 <i>Flexão Simples</i>	34

2.5.3.1.2 Cortante.....	36
2.5.3.2 Estado-Limite de Serviço.....	37
2.5.3.2.1 Estado-limite de Deformação	39
2.5.3.2.2 Estado-limite de Fissuração	41
2.5.4 Dimensionamento Concreto Têxtil	41
2.5.4.1 Estado Limite Último.....	42
2.5.4.1.1 Flexão Simples.....	42
2.5.4.1.2 Cortante.....	44
3 METODOLOGIA	47
3.1 PASSARELA.....	47
3.1.1 Localização	47
3.1.2 Tipologia e Geometria.....	48
3.2 DETERMINAÇÃO DAS CARGAS	50
3.3 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO ARMADO	50
3.4 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO TÊXTIL.....	50
3.5 METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO.....	51
3.6 CONSUMO E CUSTO DE MATERIAL.....	51
4 DIMENSIONAMENTO DA PASSARELA	52
4.1 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO ARMADO	52
4.1.1 Determinação da Carga em Concreto Armado	52
4.1.2 Dimensionamento no Estado-Limite Último	52
4.1.2.1 Combinação das ações	53
4.1.2.1.1 <i>Análise Estrutural</i>	53
4.1.2.2 Flexão Simples.....	54
4.1.2.3 Cortante.....	55
4.1.2 Dimensionamento no Estado-Limite de Serviço	55
4.1.2.1 Combinação das Ações.....	56
4.1.2.2 Estado-limite de Deformação	56
4.1.2.3 Estado-limite de Fissuração	57
4.2 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO TÊXTIL.....	57
4.2.1 Determinação da Carga em Concreto Têxtil	57
4.2.1.1 <i>Análise Estrutural</i>	58
4.2.2 Dimensionamento no Estado-limite Último	59
4.2.2.1 Dimensionamento à Flexão Simples	60

4.2.2.2 Dimensionamento à Esforço Cortante.....	61
4.2.3 Dimensionamento no Estado-limite de Serviço	61
4.2.3.1 Combinação das Ações.....	61
4.2.3.2 Estado Limite de Deformação	62
4.2.3.3 Estado-limite de Fissuração	63
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
5.1 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO.....	64
5.2 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DO CONSUMO E DO CUSTO DE MATERIAL.....	65
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO INICIAL

O concreto destaca-se de outros materiais construtivos devido à disponibilidade de seus componentes e seus custos inferiores, bem como por sua menor degradação quando em contato com a água e por sua plasticidade característica, que possibilita formas diferenciadas (PEDROSO, 2009). Em comparação a outros materiais da construção civil, o concreto é o mais utilizado.

Apesar das características deste material se destacar em relação aos outros, há cuidados que devem ser considerados durante sua aplicação. Por exemplo, Fusco (2008) afirma que, na maioria das circunstâncias, o concreto simples dispõe de uma resistência à compressão satisfatória e uma baixa resistência à tração.

A solução mais comum, nos últimos anos, para suprir a baixa resistência à tração do concreto é o reforço deste material com o emprego de armaduras de aço, conjunto este denominado de concreto armado (FUSCO, 2008). Este conjunto possibilitou a construção de elementos de vãos e alturas maiores, como uma consequência da competência do mesmo em suportar aos esforços de compressão e de tração, simultaneamente (ISAIA, 2011).

Porém, devido à fatores como a presença de umidade e exposição ao meio, as armaduras de aço que reforçam o concreto estão propícias ao processo de corrosão, sendo este o processo de degradação do concreto armado mais recorrente em relação aos outros fenômenos que ocorrem neste tipo de estrutura, prejudicando-o tanto no âmbito estético quanto na sua eficiência estrutural (HELENE, 1986).

Segundo Helene (1986), o motivo mais decorrente para esse fenômeno é a ausência de cobrimento adequado (mínimo necessário) de concreto para fornecer à armadura uma proteção física e química.

Devido às limitações da armadura de aço, diversas alternativas vêm sendo pesquisadas e analisadas para substituição da mesma.

Uma destas alternativas está relacionada à possibilidade de empregar de reforço com fibras curtas, conforme na figura 1 (SCHEERER et al, 2015).

Figura 1 - Concreto reforçado com fibras curtas

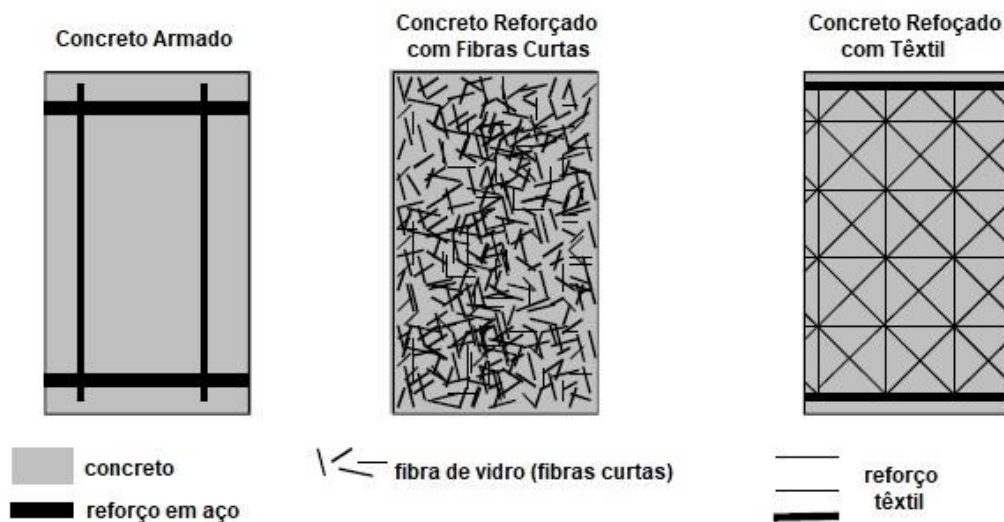


Fonte: Scheerer et al (2015, p. 16)

A Figura 1 mostra a possibilidade do emprego de fibras curtas, alternativa que vem intensificando-se nas últimas décadas, conforme afirmação de Scheerer et al (2015).

Entretanto, o concreto reforçado com fibras possui um arranjo disposto aleatoriamente e, devido a isso, as fibras curtas não possuem sua força explorada, fazendo-se necessário um grau relativamente alto de reforço. Logo, torna-se pertinente que o concreto seja reforçado com fibras em formato de malhas, ou seja, com materiais denominados têxteis orientados de acordo com as tensões de ocorrência, como demonstra a figura 2 (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2003).

Figura 2 - Reforços para concreto



Fonte: Adaptado Hegger et al (2006b, p. 133)

Na Figura 2, observa-se os três tipos de reforços citados: em aço, em fibras curtas e em reforço têxtil.

No momento em que o concreto é reforçado com materiais têxteis, passa a ser denominado de concreto reforçado com têxtil ou concreto têxtil (CT). Este é um material compósito no qual tecidos multiaxiais são empregados em combinação com concreto de granulação fina, permitindo a configuração de elementos de concretos finos e estruturados com alta resistividade aos esforços de tração e de compressão (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006).

As fibras têxteis podem dispor de uma configuração bidimensional ou tridimensional. A definição desse arranjo deve respeitar o comportamento mecânico e os processos de produção do elemento estrutural desejado (HEGGER; ZELL; HORSTMANN, 2008).

Quando comparado ao concreto armado, o CT apresenta um reforço de menor espessura, resistente aos ambientes alcalinos, não estando suscetível à ação da corrosão quando exposto às condições agressivas da atmosfera. Portanto, a execução de um revestimento de concreto adicional para a proteção deste reforço não se faz necessária (HÄUSSLER-COMBE; JESSE; CURBACH, 2004).

Com base em sua propriedade não corrosiva, os elementos constituídos por CT tendem a possuir seções transversais muito finas e com alta capacidade de carga (KOCH et al, 2015; HEGGER et al, 2006b).

De acordo com Koch et al (2015), as vantagens do CT se estendem a termos de sustentabilidade, economia, durabilidade e novas possibilidades de projeto quando comparados ao concreto armado convencional. Logo, o crescimento de pesquisas sobre esse material na Alemanha, nos últimos vinte anos, deu-se em razão dessas vantagens.

Porém, mesmo sendo um material que está se destacando no mercado internacional e está em crescimento no ramo das pesquisas, ainda há dificuldade com relação às fontes e desenvolvimentos nacionais especializados nesse material.

1.2 JUSTIFICATIVA

O CT está ingressando e se consolidando no mercado há mais de duas décadas. Porém, por ser um material inovador, há uma carência, principalmente no âmbito nacional, de literaturas, pesquisas e referências especializadas sobre este compósito, principalmente no que tange ao seu dimensionamento, necessitando pesquisas.

Essa escassez contempla não só o campo de pesquisas de características das propriedades do material, mas também na aplicação e dimensionamento do material.

Com isso, o presente trabalho apresenta informações pertinentes, com base em fontes de pesquisas já realizadas, para contribuir com aqueles que possuem interesse em trabalhar e estudar o material.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral a comparação entre as metodologias de dimensionamento de uma passarela em dois compósitos cimentícios com distintos reforços, o reforço têxtil e o reforço convencional, a fim de demonstrar as diretrizes de dimensionamento, quantitativo e o custo dos materiais propostos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Analisar e comparar os métodos de dimensionamento do concreto armado convencional e do concreto reforçado com têxtil;
- b) Analisar e comparar o consumo de material entre os dois modelos propostos;
- c) Verificar porcentagem de redução dos materiais;
- d) Comparar custo entre os materiais propostos.

1.4 DELIMITAÇÃO

A delimitação do presente trabalho dá-se ao dimensionamento de uma passarela para pedestres para dois tipos de concreto reforçado distintos. Estas passarelas foram submetidas às mesmas condições de contorno específicas referente ao tipo de utilização e ao local aplicado.

1.5 LIMITAÇÕES

O trabalho terá como limitação os seguintes itens:

- a) O desenvolvimento do trabalho se restringe ao dimensionamento apenas do elemento de superestrutura da passarela de pedestre, sendo assim, o dimensionamento dos acessos à passarela e o dimensionamento dos elementos de mesoestrutura e infraestrutura não serão contemplados;
- b) As verificações quanto às ações dinâmicas, ações de carga de vento e cargas excepcionais não foram abordadas;
- c) Efeito de vibrações e instabilidade lateral das vigas foram desprezadas;
- d) Para o concreto armado, considerou-se que a ponte se situa na CAA II;
- e) Sendo um estudo de caso, se limita as condições analisadas de vão de 52 m.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

O entendimento de Isaia (2011) demonstra que a evolução e aprimoramento do concreto como material, até a forma em que é utilizado atualmente, deram-se a partir da transformação de um simples aglomerante, no decorrer de mais de vinte séculos, acompanhando a evolução da civilização e suas necessidades.

Porém, sua disseminação notória só ocorreu após 1945, quando sua utilização fez-se necessária para reconstruir países devastados pela Segunda Guerra Mundial.

Depois disso, apesar de não apresentar resistência e dureza elevada, como o aço, o concreto é o material da construção civil mais empregado (MEHTA, MONTEIRO, 2008). O fato dá-se em consequência das características apresentadas:

- a) Capacidade de resistência à água sem grave deterioração do elemento;
- b) Possibilidade de execução de componentes em diversificados tamanhos e formas;
- c) Baixo investimento acrescido da disponibilidade abundante de matéria-prima.

Estes atributos podem ser estabelecidos como as principais razões que definem essa preferência e o alto consumo deste material (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As estruturas de concreto são frequentemente submetidas a cargas, a agentes agressivos e a agentes degradantes. Esses fatores influenciam no desempenho mecânico do material, bem como limitam a vida útil e torna o custo de manutenção e reabilitação elevado (FANGUEIRO; SOUTINHO, 2011).

Um desses fatores é que, apesar de apresentar uma resistência à compressão satisfatória, o concreto dispõe de uma resistência à tração baixa, circunstância inadequada para peças com solicitações de tração e flexão. Por este motivo, o material deve ser reforçado (MONTROYA; MESEGUER; CABRÉ, 2002).

2.2 ELEMENTOS DE REFORÇO

Devido a esta reduzida resistência à tração, alternativas tecnológicas surgiram para solucionar suas falhas. A utilização de barras de aço e de fibras curtas, respectivamente denominadas de concreto armado e concreto com fibras, são algumas das soluções já estudadas e usuais para melhoria do concreto (FIGUEIREDO, 2011).

Gries et al (2016) afirmam que o reforço têxtil seria outra opção para reforçar o concreto, agregando maior durabilidade e confiabilidade ao material.

2.2.1 Concreto Armado Convencional

O concreto armado convencional originou-se para suprir a necessidade que o concreto apresentava em relação à sua baixa resistência à tração. Sendo assim, o concreto é reforçado com barras de aço nas zonas de tração, e como consequência obtém resistências satisfatórias a esforços de tração e compressão (MONTROYA; MESEGUER; CABRÉ, 2002).

De acordo com Montoya, Meseguer e Cabré (2002), a qualidade desse material em adaptar-se a qualquer forma, de acordo com o molde, e em proporcionar maior liberdade para projetar e maior facilidade na execução, são algumas das vantagens que mais destacam o concreto armado dos outros materiais, mesmo quando levadas em conta vantagens como a leveza e a resistência do aço.

Porém, as consequências da integração do aço no concreto (devido à sua fragilidade a ação corrosiva) não foram inicialmente consideradas. Consequentemente, a integração acarretou em estruturas com problemas de degradação precoce, tornando a durabilidade um tema crítico em relação ao custo-benefício (ISAIA, 2005).

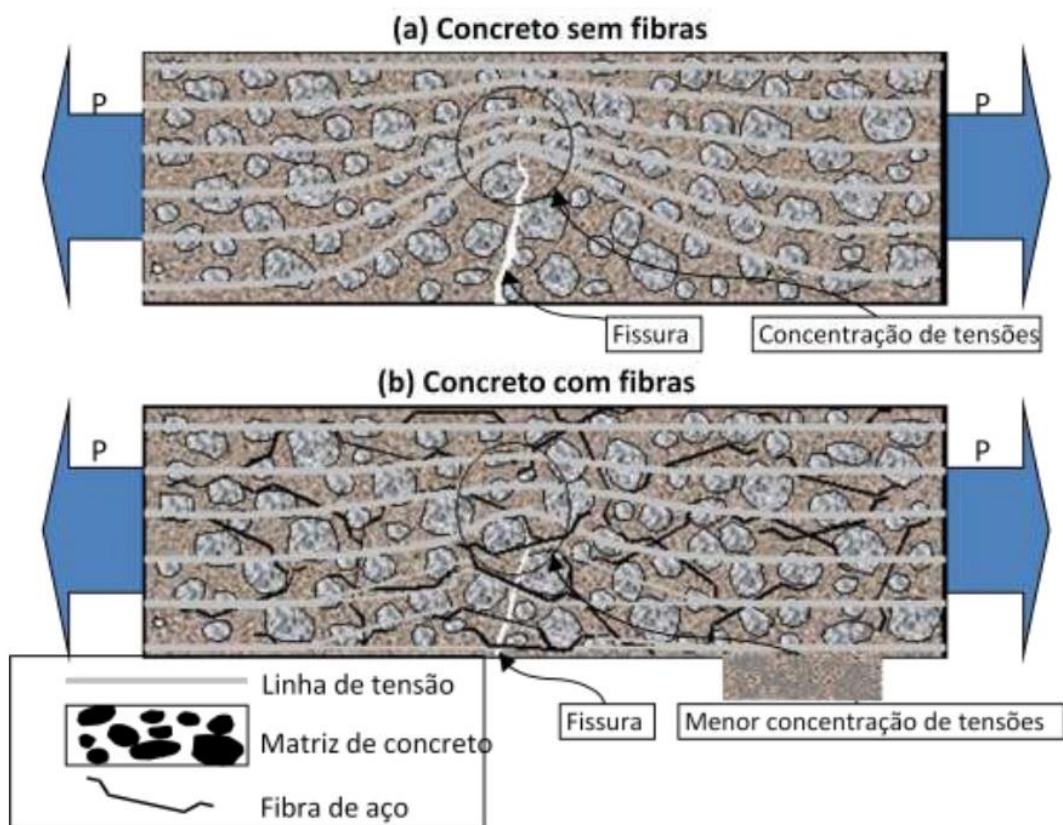
Essa e outras limitações do concreto armado desencadearam a curiosidade em desenvolver materiais que aumentassem a durabilidade, mas conservasse ou aumentasse sua resistência aos esforços (FIGUEIREDO, 2011).

2.2.2 Concreto Têxtil

Uma das primeiras pesquisas para a substituição do reforço em aço, atendendo aos mesmos critérios, foi a aplicação de fibras curtas no concreto, dando origem ao que se denomina de concreto com fibras (FIGUEIREDO, 2011).

Estas fibras trabalham como ponte de transferência de tensão através das fissuras do concreto para suprir a dificuldade do mesmo de interromper a propagação destas fissuras quando submetido a esforços de tração (METHA: MONTEIRO, 2008; FIGUEIREDO, 2011). A figura 3 ilustra um esquema de concentração de tensões.

Figura 3 - Esquema de concentração de tensões para um concreto sem e com reforço de fibras



Fonte: Figueiredo (2011, f. 30)

Observa-se na figura 3 o comportamento do concreto fissurado quando há e quando não há o emprego de fibras curtas.

A distribuição dessas fibras dentro do concreto não possui um controle, pois dá-se de forma aleatória. Com isso sua função e força geralmente não são

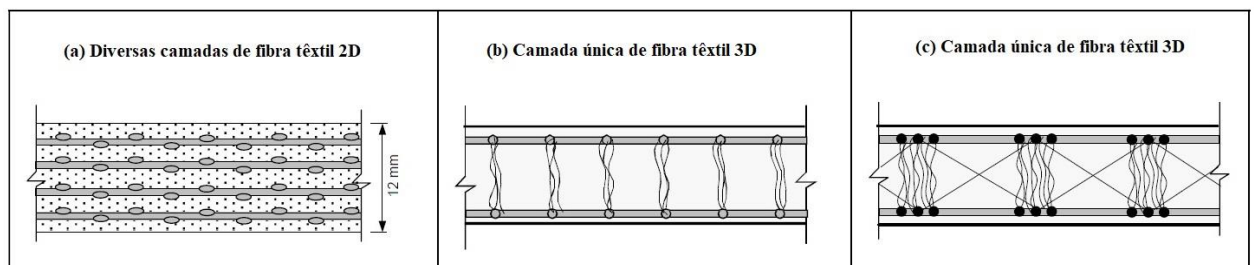
exploradas com eficiência, tornando necessários reforços adicionais (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2003).

Pensando em solucionar o controle dessa distribuição, Brameshuber e Brockmann (2003) concluíram que a utilização de reforço têxtil seria uma opção mais apropriada para a substituição do reforço em aço nas estruturas de concreto, pois nesse tipo de reforço o formato e a distribuição das fibras disponibilizam sua orientação de acordo com as tensões solicitadas.

O CT dispõe de uma inovadora tecnologia para fortalecer ou reparar estruturas de concreto, com compósitos de grãos finos reforçados com fibras têxteis (HÄUSSLER-COMBE; JESSE; CURBACH, 2004).

Naaman (2010) define CT como um tipo de concreto reforçado geralmente constituído de uma matriz de cimento hidráulico reforçada com várias camadas de fibras têxteis em arranjo 2D, estreitamente espaçadas, e até mesmo uma ou várias camadas dessa fibra em arranjo 3D, como demonstra a figura 4.

Figura 4 – Concreto reforçado com fibras têxteis (a) 2D em diversas camadas; (b) e (c) 3D camada única



Fonte: Adaptado Naaman (2010, p. 5)

A figura 4 demonstra os tipos de fibras têxteis utilizadas como reforço.

Estes reforços podem ser confeccionados de materiais poliméricos, sintéticos, orgânicos ou outro material adequados (NAAMAN, 2010). No entanto, são normalmente constituídos de fibras de vidro, fibras de carbono ou fibras de aramida, com característica de suportar, permanentemente, o meio alcalino sem perder suas propriedades (GRIES et al, 2006).

A análise dos constituintes individuais do CT, sendo eles a matriz cimentícia de grãos finos e o reforço têxtil, faz-se necessária para a melhor compreensão do mesmo como um material composto (PORTAL, 2015).

2.2.2.1 Matriz Cimentícia

A matriz de concreto que compõe o CT difere da matriz cimentícia normalmente utilizada em concreto armado convencional. (PORTAL, 2015). Isso ocorre porque, geralmente, as matrizes utilizadas no CT têm como necessidade satisfazer exigências especiais em relação aos processos de produção, propriedades mecânicas do compósito e durabilidade do material de reforço (BRAMESHUBER et al, 2006).

Essa matriz cimentícia, apesar de ter que satisfazer as exigências citadas e de possuir uma alta qualidade, não é do tipo que requer formulação rigorosa ou ingredientes diferentes dos convencionais (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017).

No entanto, a principal exigência, segundo Brameshuber et al (2006), é que esse concreto disponha de uma granulometria de grãos finos, ou seja, possuir um tamanho agregado tipicamente < 2 mm.

Como consequência desse fato, o sistema matricial pode ser denominado de argamassa. Entretanto, esse sistema é normalmente nomeado como concreto de grãos finos (ou concreto fino) por proporcionar propriedades mecânicas de alto desempenho, bem como por ser um constituinte de um material de construção composto (BRAMESHUBER et al, 2006).

A matriz do CT deve obter uma penetração total de seu material nas malhas do reforço têxtil e, sendo assim, há a obrigatoriedade da mesma possuir uma consistência altamente fluível. Para isso necessita-se que o tamanho máximo dos grãos seja obedecido, e o material deve dispor de alto teor de ligante e diferentes aditivos pozolânicos e plastificantes de alto desempenho (BROCKMANN, 2006).

Na maioria dos casos, as informações e detalhamentos sobre as composições dos sistemas matriciais utilizados não são publicados, tendo como consequência referências incompletas sobre essas composições matriciais (BRAMESHUBER et al, 2006).

2.2.2.2 Reforço Têxtil

Estruturas têxteis na forma de tecido, malhas, trançados ou não tecidos são aplicadas em diversas áreas da construção civil pelo fato de possuírem excelentes

propriedades de acordo com tipo, orientação e arquitetura das fibras utilizadas (FANGUEIRO; SOUTINHO, 2011).

Segundo Krüger, Reinhardt e Fichtlscherer (2001), em relação à utilização de reforços têxteis em compósitos cimentícios, trata-se de um material inovador que está se consolidando na área dos materiais da construção civil, porém, ainda há uma insuficiência de conhecimento em relação ao material.

As características do compósito do CT são fortemente influenciadas pelas propriedades, quantidades e disposição dos materiais fibrosos utilizados (GRIES et al, 2006). Essas características e propriedades das estruturas têxteis determinam uma aplicação específica de acordo com sua adequação (FANGUEIRO; SOUTINHO, 2011).

Para que o reforço têxtil alcance sua alta eficiência é necessário que, de acordo com Peled, Mobasher e Bentur (2017), seus fios estejam perfeitamente retos e alinhados, para que assim os fios do reforço sejam capazes de transferir de maneira eficiente a carga aplicada ao longo do comprimento do fio, podendo seu potencial ser explorado.

Na determinação do material a ser utilizado como reforço têxtil, deve-se levar em considerações alguns fatores, porém, o mais importante é que esse material seja resistente ao meio alcalino que o cimento Portland oferece (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017).

A maleabilidade das fibras possibilita a criação de uma estrutura do tipo grade aberta, com alta estabilidade, proporcionando ao concreto boa aderência, boa permeabilidade e boa resistência no manuseio para que os fios não se desloquem, permitindo, também, a obtenção de um relaxamento sob cargas permanentes. O material possui baixo custo e um potencial de fácil processamento, considerando o maquinário têxtil existente. Estas são algumas das características que também devem ser levadas em consideração na definição do material a ser utilizado (FANGUEIRO; SOUTINHO, 2011; PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017).

Os reforços constituídos de fibras de vidro AR (álcali resistente), carbono e aramida, com já citado neste trabalho, são os mais usuais para compor o CT, pois atendem aos requisitos exigidos (GRIES et al, 2006; ARAÚJO, 2011).

2.2.2.2.1 Fibras de Vidro AR

A utilização das fibras de vidro para reforçar o concreto não é uma ideia recente, mas para sua utilização na composição do CT existem algumas observações adicionais (GRIES et al, 2006).

Segundo Peled, Mobasher e Bentur (2017), a sílica (SiO_2) é o ingrediente básico de todos os tipos de fibra de vidro, e para modificar a estrutura da rede são adicionados outros óxidos.

Uma característica desse material é a baixa resistividade alcalina (BENTUR; MINDESS, 2006). Porém, esse tipo de reforço tem necessidade de ser álcali resistente, ou seja, deve ser resistente à solução alcalina do concreto. Para isso, essa fibra deve conter 15% de sua massa de zircão, tornando-se uma fibra de vidro AR apropriada para utilização no CT (GRIES et al, 2006).

Sua alta resistência específica, ou seja, a relação entre a sua resistência à tração e a sua densidade, é uma das principais vantagens da utilização das fibras de vidro (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017).

As fibras de vidro AR são as mais utilizadas para reforçar o CT, pois possui uma boa aderência com matrizes à base de cimento e seu custo é relativamente acessível, proporcionando um bom custo-benefício (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017; GRIES et al, 2006).

2.2.2.2.2 Fibras de Carbono

De acordo com Gries et al (2006), as fibras de carbono utilizadas nos dias de hoje foram desenvolvidas na década de 1960. O material principal para sua fabricação é a fibra de poliacrilonitrila, que também é denominada como PAN. As funções do processo de produção (isto é, o grau de cristalização e perfeição dos filamentos de carbono) condicionam a variação de suas propriedades (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017; GRIES et al, 2006).

Apesar de não possuírem uma alta qualidade de adesão ao material cimentício como a da fibra de vidro AR, Os filamentos de carbono, segundo Peled, Mobasher e Bentur (2017), têm uma característica que é fundamental para o contato com o concreto: possuem uma elevada resistência a solventes ácidos, alcalinos e orgânicos.

Para superar a deficiência na adesão do material ao concreto, a alternativa é a aplicação de tamanhos especiais para aperfeiçoar o uso das propriedades do filamento no componente de construção. Com esta solução, o carbono, apesar de possuir um custo elevado, terá uma importância crescente para o reforço (GRIES et al, 2006).

2.2.2.2.3 Fibras de Aramida

Existem apenas alguns poucos estudos referentes às fibras de aramida no campo da engenharia estrutural. Essas as fibras de aramida são confeccionadas por policondensação de dicloranidridos de ácidos aromáticos de dicarbono com diaminas aromáticas (GRIES et al, 2006).

As fibras de aramida possuem uma excelente resistência à tração e módulo de elasticidade, porém a baixa resistência a soluções alcalinas é sua maior desvantagem em relação aos outros tipos de fibras que reforçam o CT (GRIES et al, 2006).

2.3 CARACTERÍSTICAS

O aço vem sendo o reforço mais tradicionalmente aplicado em estruturas de concreto nos últimos cem anos. Porém, apesar de dispor de vários benefícios, esse composto possui várias desvantagens. Para superar algumas delas, efetuou-se a aplicação de fibras curtas no concreto. No entanto, além de não substituir o aço, essa técnica não soluciona todas as desvantagens (GRIES et al, 2016).

Uma das alternativas para a substituição do aço e melhora no desempenho do concreto, de acordo com Gries et al (2016), é o uso do CT. Este resulta em maior durabilidade e confiabilidade na construção civil.

O CT destaca-se em relação ao concreto armado convencional devido à sua resistência à corrosão e também a seu peso mais leve (KULAS, 2015).

Em razão dessa característica do CT, a espessura do cobrimento de concreto torna-se extremamente mais fina, possibilitando a construção de elementos mais delgados (HEGGER et al, 2006a).

De acordo com Kulas (2015), a espessura necessária para uma ligação adequada entre o concreto e o reforço têxtil varia de 10 a 15 mm, logo, conclui-se que a espessura de cobrimento de concreto varia entre 20 a 30 mm.

Em consequência disso, Hegger et al (2006a) afirmam que esses elementos podem adquirir novas formas e, por essa razão, profissionais da área podem dispor de mais liberdade para projetar, resultando também em economia no quantitativo de materiais.

Além de oferecer vantagens em relação ao concreto armado convencional, o CT também se sobressai em relação ao concreto com fibras por possuir uma continuidade dos fios das fibras, fornecendo eficácia e confiabilidade (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017).

Essa vantagem, de acordo com Peled, Mobasher e Bentur (2017), pode ser ainda mais aprimorada quando, na produção das fibras, é levada em consideração a flexibilidade. Sendo assim, através da otimização dos fios de alto desempenho e pelo controle de sua orientação, os têxteis podem ser adaptados para o desempenho estrutural, estático e de impacto.

Peled, Mobasher e Bentur (2017) afirmam que a utilização do concreto que possui reforço têxtil, dependendo do tipo e distribuição dos fios, resulta em um compósito reforçado em todas as direções necessárias, pois um número relativamente alto de fios contínuos pode ser facilmente aplicado nas direções desejadas.

Devido à possibilidade de aplicação de reforço com precisão reproduzível, os têxteis são o elemento mais adequado para reforçar componentes complexos e curvos com caminhos de cargas variáveis, o que torna mais fáceis a aplicação e o desenvolvimento de elementos curvos tanto espessos quanto mais finos (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017).

Logo, Koch et al (2015) afirmam que as vantagens mais importantes do CT são:

- Não ser propenso à corrosão;
- Capacidade de carga elevada em relação ao aço;
- Execução de elementos muito finos e estruturalmente mais fortes;
- Alta qualidade de superfície e alta durabilidade devido ao uso de matriz cimentícia de grãos finos.

O comportamento mecânico, durabilidade e sustentabilidade são características importantes quando se trata do CT.

2.3.1 Comportamento Mecânico

O concreto reforçado com fibras têxteis dispõe de um grande número de combinações e tipologias estruturais e geométricas, tendo como consequência a variação das condições de carga do compósito, o que dificulta o estudo analítico do comportamento mecânico do material (CHUDOBA; SCHOLZEN, 2016).

De acordo com Inaguma et al (2006), a grande variação de aplicações potenciais do CT ampliam a gama de cargas mecânicas e ambientais a que compósito está submetido, bem como suas possíveis combinações. Um exemplo disso é a possibilidade de um mesmo membro estrutural possuir variações de desempenho em distintas partes ao longo da peça.

O comportamento de carga do CT, de acordo com Hegger et al (2006a), é determinado pela influência do material, a quantidade e a orientação do reforço têxtil e da matriz cimentícia.

O estudo dos materiais que estão atualmente em desenvolvimento e aprimoramento levará a uma melhor compreensão dos mecanismos de falha das estruturas de CT (HEGGER et al, 2006a).

Porém, esse comportamento de suporte de cargas do CT, assim como no caso de todo material compósito, não pode ser determinado apenas através do desempenho de seus materiais constituintes. O comportamento de ligação destes materiais deve ser também considerado (HEGGER et al, 2006b).

2.3.2 Durabilidade

Existe um grande potencial para a aplicação do CT em elementos estruturais, bem como em estruturas expostas a rigorosas cargas mecânicas e ambientais. Em muitos casos, o CT quando comparado ao concreto comum, demonstra resistência superior a ambientes agressivos (MECHTCHERINE, 2016).

Por tratar-se de um material novo, Mechtcherine (2016) afirma que as estruturas reforçadas com material têxtil não possuem informações sobre desempenho de campo no longo prazo. Porém, as aplicações em campo

recentemente realizadas indicam que o desempenho está sendo superior ao realizado em laboratório. Purnell et al (2006) afirmam que, por esses motivos, a durabilidade do CT pode ser inferida a partir da literatura sobre a durabilidade do ferrocimento.

Pesquisas laboratoriais bem sucedidas sobre o comportamento de elementos estruturais fabricados em CT foram realizadas nos últimos anos, bem como aplicações do CT para a execução de novas pontes para pedestres e reforços de estruturas já existentes (MECHTCHERINE, 2016).

A necessidade do estudo da durabilidade dos componentes individuais do CT faz-se necessária para a garantia de durabilidade do composto. Sendo assim, a durabilidade da matriz cimentícia, da fibra têxtil e das propriedades de ligação fibra-matriz devem ser levadas em consideração nesses estudos (MECHTCHERINE, 2016).

2.3.2.1 Durabilidade da Matriz Cimentícia

Com relação a durabilidade da matriz cimentícia, faz-se necessária uma quantidade substancial de pesquisas que investiguem o comportamento deste material, seja quando aplicado ao CT, seja quando expostos a diversas condições, buscando também confirmar o desempenho do material característico observado estatisticamente (MECHTCHERINE, 2016).

Mechtcherine (2016) afirma que questões como o processo de envelhecimento e a hidratação associada do material podem acarretar em alterações no desempenho mecânico do CT. A consequência disso seria a modificação da pasta ligante endurecida, da microestrutura e das propriedades da ligação fibra-matriz.

2.3.2.2 Durabilidade das Fibras Têxteis

Quanto ao desempenho de durabilidade das fibras têxteis, conforme Purnell et al (2006), destaca-se a sua resistência a ambientes alcalinos, pois a natureza da grande maioria dos cimentos hidráulicos utilizados na matriz é alcalina. Muitas fibras danificam-se com alcalinidades muito altas como a do concreto, perdendo a integridade do reforço.

A hidratação continuada da matriz também deve ser considerada, pois a disponibilidade contínua de água tende a densificar a interface entre a matriz e as fibras. Com o envelhecimento da matriz, os produtos de hidratação preenchem os espaços na zona interfacial, reduzindo a porosidade e aumentando a dureza e a resistência. Com isso, a rachadura provavelmente percorrerá a fibra ao invés de contorna-la (PURNELL et al, 2006).

A melhoria da resistência das fibras ao ataque químico ou a utilização de matrizes cimentícias modificadas que são menos hostis à elas são abordagens para o aumento da durabilidade do CT (PURNELL et al, 2006).

As fibras de vidro resistentes a álcalis são um dos exemplos de melhoria de resistência das fibras. Para a modificação da matriz, o uso de aditivos vem suprimindo essa necessidade, pois esses aditivos são destinados a reduzir a alcalinidade da solução de poros e/ou a reagir com o hidróxido de cálcio produzido durante a hidratação (PURNELL et al, 2006).

2.3.2.3 Durabilidade de Ligação Fibra-matriz

Purnell et al (2006) afirmam que os mecanismos responsáveis pela durabilidade do CT ocorrem em nível microestrutural, normalmente na interface fibra-matriz. Estas interfaces estão geralmente entre a matriz cimentícia e os fios da fibra, nos quais a matriz, a princípio, não penetra totalmente.

Outra razão para o destaque da ligação fibra-matriz são as múltiplas combinações de fibra e matriz, essas aumentam e diferem o comportamento de durabilidade do material, especialmente quando novas matrizes são combinadas com uma gama de fibras (PURNELL et al, 2006).

Com isso e com a incerteza na previsão do comportamento do CT relacionado à ligação fibra-matriz, as investigações experimentais sobre novas combinações de ligação tornam-se indispensável para o desenvolvimento do material compósito (MECHTCHERINE, 2016).

2.3.3 Sustentabilidade

O CT possui um desempenho mecânico inovador na construção civil. Esse fator acarreta no desenvolvimento de componentes de seções mais finas, mais leves

e com menor consumo de matéria-prima, quando comparados ao concreto armado convencional (PELED; MOBASHER; BENTUR, 2017).

Esse atributo sustentável, conforme Peled, Mobasher e Bentur (2017), não é o único. A possibilidade de estender a vida útil de estruturas existentes que estejam deterioradas ou que necessitem de atualização no seu desempenho estrutural, bem como a probabilidade de a vida útil de elementos construídos com CT ser maior que a do concreto armado convencional, são algumas das principais características de sustentabilidade desse material inovador.

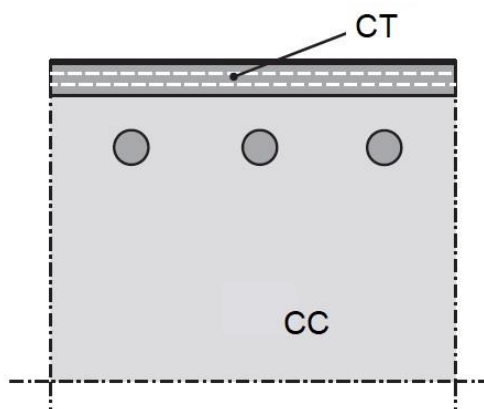
2.4 ESTUDOS DE CASO

O concreto reforçado com têxtil, por dispor de alta capacidade de carga e um peso relativamente baixo, apresenta aplicações inovadoras e desafiadoras (BROCKMANN; RAUPACH, 2002).

Essas aplicações, de acordo com Brameshuber e Brockmann (2006), estão disseminadas em vários campos, como, por exemplo, em fôrmas integradas, em fortalecimento de estruturas existentes e em componentes de edifícios estruturais.

Entretanto, as aplicações mais decorrentes do material são não estruturais, como observa-se na figura 5, sendo a principal delas a utilização do material no controle de fissuras de contração, de fissuras induzidas por mudança de temperatura e de fissuras ocasionadas pela a sobrecarga durante o transporte e montagem (MECHTCHERINE, 2016).

Figura 5 - Reforço de concreto têxtil (CT) em estrutura de concreto convencional (CC)



Fonte: Mechtcherine (2016, p.152)

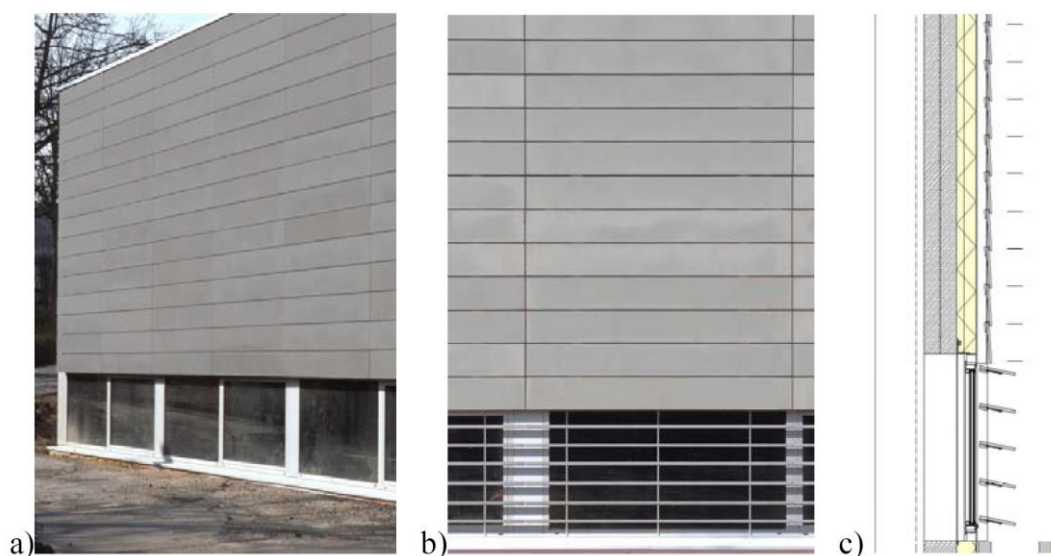
A figura 5 ilustra o caso em que o CT é utilizado para reforçar o concreto armado convencional.

Mechtcherine (2016) afirma ainda que, em alguns casos, o reforço têxtil é combinado com o reforço em aço convencional com intuito de obter soluções ótimas em relação à capacidade de carga, durabilidade, facilidade de manutenção e estética. Porém, neste caso, a proteção da armadura em aço contra a corrosão deve ser um item a ser considerado em relação à durabilidade do material.

Entretanto, quando substituímos os reforços em aço convencional por reforços têxteis, cria-se uma ampla gama de possibilidades de modelos de painéis de fachadas. Devido à menor espessura alcançada pelo CT em relação à espessura mínima exigida pelo concreto armado de 70 a 100 mm, elimina-se a necessidade de âncoras de fachadas, resultando em menor carga morta (HEGGER et al, 2006a).

No Instituto de Concreto Estrutural da Universidade de Aachen, segundo Hegger et al (2006a), aplicou-se painéis de revestimento em CT para um edifício de extensão. Foram aplicados painéis de cortina em CT de 2685 x 325 x 25 mm, como pode-se observar na figura 6, onde usualmente haveria a aplicação de pedra natural. Contudo, o concreto reforçado com têxteis tem menor custo-benefício em relação à pedra.

Figura 6 – Painéis de Fachada no Instituto de Concreto Estrutural na RWTH Aachen University: vistas (a; b), seção (c)



Fonte: Hegger et al (2006a, p. 239)

As aplicações do CT são muito promissoras, porém, antes que ele seja amplamente aceito como material de construção padrão, há muito estudo a ser desenvolvido. Antes de tudo, deve ser elaborada e introduzida uma base sólida na forma de códigos e diretrizes para projeto estrutural e especificações de materiais (MECHTCHERINE; SCHNEIDER; BRAMESHUBER, 2016).

2.5 REFERENCIAL NORMATIVO

A concepção de uma passarela de pedestres, bem como a definição de sua localidade e geometria, devem satisfazer à Instrução de Serviços Ferroviários (ISF) nº 219 – Projeto de Passarela para Pedestres do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Esta determina as condições gerais para um projeto de uma passarela de pedestres (DNIT, 2016).

Com base na ABNT NBR 7187 (ABNT, 2003), o dimensionamento de pontes deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014). Como não há normativas para o dimensionamento de passarelas de pedestre, será considerado para este a sugestão da ABNT NBR 7187 (ABNT, 2003).

2.5.1 Passarela

Para a elaboração de um projeto de passarela de pedestres, o DNIT (2016) determina na ISF nº 219 os pontos fundamentais:

- a) Localização Favorável da passarela;
- b) Garantir aos pedestres: conforto, segurança e facilidade de acesso;
- c) Atendimento ao gabarito estabelecido para a via;
- d) Considerar as prescrições da Norma ABNT NBR 9050 – Acessibilidade de Pessoas Portadoras de Deficiência a Edificações, Espaços Mobiliários e Equipamentos Urbanos. (DNIT, 2016, p. 1).

Após atender os pontos fundamentais, a ISF nº 219 (DNIT, 2016) sugere a escolha do tipo de passarela de acordo com sua disponibilização. Se esta estiver em nível superior à superestrutura da via, será do tipo sobrejacente, e se a superestrutura da via estiver em nível superior do nível da passarela, esta será do tipo subjacente.

A ISF nº 219 (DNIT, 2016) determina que para cada tipo de passarela haverá uma determinada dimensão mínima para sua largura, isto é, quando esta for do tipo

sobrejacente deverá ter largura mínima de dois metros, porém, quando for do tipo subjacente deverá possuir largura mínima de três metros.

A seção vertical da passarela necessitará atender não apenas à ISF nº 219 (DNIT, 2016), mas também à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9050 (ABNT, 2015).

2.5.2 Determinação das Cargas

A NBR 7188 (ABNT, 2013) determina que a carga móvel adotada em passarelas seja de 5 kN/m², aplicada entre os guarda-corpos e uniformemente distribuída, sem considerar o coeficiente de impacto vertical.

Para a determinação do peso próprio do concreto armado, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define que para efeito de cálculo de massas específicas reais não conhecidas adota-se para concreto armado uma massa específica de 2.500 kg/m³, ou seja, 25 kN/m³.

Visando contribuir com o desenvolvimento do CT, Hegger et al (2010) desenvolveram uma matriz cimentícia para realizar uma passarela de pedestre em CT, na Alemanha.

Esta matriz, denominada de M9-15, é composta por cimento CEM II/A-LL 42.5 R, água, aglomerante, areia de granulometria entre 0 e 4 mm, cinza volante, metacaulim e microesferas ocas. O quantitativo dos materiais e as propriedades deste concreto estão expostos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Composição da matriz cimentícia e propriedades do concreto M9-15

Material	Unidade	Quantidade
Cimento	kg/m ³	450
Cinza Volante	kg/m ³	100
Metacaulim	kg/m ³	31,5
Água	kg/m ³	213,8
Areia (0 - 4 mm)	kg/m ³	1457,4
Aglomerante	kg/m ³	581,5
Microesferas ocas	kg/m ³	3
A/C	-	0,41

Fonte: Adaptado Hegger et al (2010, p. 358)

Tabela 2 - Propriedades do concreto M9-15 fresco

Propriedades	Unidade	Valores
Densidade do Concreto	kg/m ³	2256
Ar incorporado	% volume	2,8
Resistência à Compressão - 28 dias	MPa	87,1
Resistência à Flexão - 28 dias	MPa	10,7
Módulo de Elasticidade	MPa	33600

Fonte: Adaptado Hegger et al (2010, p. 358)

Com base nos dados de Hegger et al (2010), conclui-se que o valor do peso específico do CT é de 22,124 kN/m³, 11% inferior ao trazido em norma para o concreto convencional.

2.5.3 Dimensionamento Concreto Armado

Para iniciar o dimensionamento efetivo do elemento, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define carregamento como uma combinação das ações que atuam simultaneamente sobre a estrutura por um determinado período. A realização desta combinação tem por intuito determinar efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. Logo, deve-se verificar a segurança em relação aos estados-limites últimos (ELU) e estados-limites de serviço (ELS), sendo elas determinadas em função de, respectivamente, combinações ultimas e combinações de serviço.

2.5.3.1 Estado-Limite Último

A NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 4) define estado-limite último como “estado-limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura”.

Para a verificação da segurança no ELU, a NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda que as cargas permanentes devam ser combinadas e, para isso, deverão ser seguidas as instruções da tabela 11.3 da mesma NBR. Esta tabela recomenda os valores para os coeficientes de ponderação, estando representada na tabela 3.

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \dots + \gamma_q \times F_{q1k} + \dots$$

Onde:

F_d : valor de cálculo das ações para combinação última (kN/m);

γ_g : coeficiente de ponderação para as ações permanentes;

F_{gk} : representa as ações permanentes diretas (kN/m);

γ_q : coeficiente de ponderação para ações variáveis;

F_{q1k} : representa as ações variáveis principais (kN/m).

Tabela 3 - Coeficientes

Combinação de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

onde:
D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura

^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especificamente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 65)

Com as cargas definidas, a NBR 6118 (ABNT, 2014) sugere realizar a análise estrutural para determinar os efeitos das ações na estrutura. Esta análise possibilita a definição dos esforços internos, das tensões, das deformações e dos deslocamentos a fim de verificar a estrutura nos estados-limites últimos e de serviço.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 120), as seguintes hipóteses básicas devem ser consideradas:

- a) as seções transversais se mantêm planas após a deformação;
- b) a deformação das barras passivas aderentes ou o acréscimo de deformação das barras ativas aderentes em tração ou compressão de ser a(o) mesma(o) do concreto em seu entorno;
- [...]
- d) as tensões de tração do concreto, normais à seção transversal, devem ser desprezadas no ELU;
- e) a distribuição de tensões no concreto é feita de acordo com o diagrama parábola-retângulo, definido em 8.2.10.1, com tensão de pico igual $0,85 f_{cd}$, com f_{cd} definido em 12.3.3. Esse diagrama pode ser substituído pelo retângulo de profundidade $y = \lambda x$, onde o valor do parâmetro λ pode ser tomado igual:
 - $\lambda = 0,8$, para $f_{ck} \leq 50$ MPa; ou
 - $\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400$, para $f_{ck} > 50$ MPa.

e onde a tensão constante atuante até a profundidade y pode ser tomada igual a:

- $\alpha_c f_{cd}$, no caso da largura da seção, medida paralelamente à linha neutra, não diminuir a partir desta para a borda comprimida;
- $0,9 \alpha_c f_{cd}$, no caso contrário.

sendo α_c definido como:

- para concretos de classes até C50, $\alpha_c = 0,85$
- para concretos de classes de C50 até C90, $\alpha_c = 0,85 \cdot [1,0 - (f_{ck} - 50)/200]$

As diferenças de resultados obtidos com esses dois diagramas são pequenas e aceitáveis, sem necessidade de coeficiente de correção adicional.

f) a tensão nas armaduras deve ser obtida a partir dos diagramas tensão-deformação, com valores de cálculo definidos em 8.3.6 e 8.4.5.

g) o estado-limite último é caracterizado quando a distribuição das deformações na seção transversal pertencer a um dos domínios definidos na Figura 17.1, onde ϵ_{c2} e ϵ_{cu} são definidos em 8.2.10.1.

Para o dimensionamento neste estado-limite, há a necessidade de classificar a agressividade ambiental. Com isso, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define qual o cobrimento mínimo considerado para cada elemento de acordo com a classe de agressividade ambiental. Sendo assim, a passarela, que está localizada em ambiente urbano, enquadra-se na classe II. Esta classe, de acordo com a mesma norma, necessita de um cobrimento mínimo para vigas de concreto armado de 30 mm.

Com base nas cargas, nas hipóteses e em todas as considerações necessárias, deve-se dimensionar e verificar, para este estado-limite, a flexão e a força cortante.

2.5.3.1.1 Flexão Simples

O dimensionamento da armadura no estado-limite último à flexão simples solicita, primeiramente, a definição da altura de compressão, ou seja, a altura da linha neutra da seção transversal. Para isto, utiliza-se o diagrama parábola-retângulo, e como citado anteriormente, este pode ser substituído pelo diagrama retangular com profundidade $y = \lambda x$ (ABNT NBR 6118, 2014).

Sendo validada no processo de dimensionamento, adota-se a hipótese de que o concreto atingirá sua deformação limite de resistência à tração e trabalhará conforme o diagrama retangular de tensões de altura λx com tensão constante igual a f_{cd} . Com isso, os esforços atuantes e resistentes devem estar em equilíbrio (ABNT NBR 6118, 2014).

$$R_{CC} - R_{sd} = 0 \quad (1)$$

$$M_d - R_{cc} \times z = 0 \quad (2)$$

A profundidade da linha neutra pode ser determinada através da equação de equilíbrio de momentos, M_d . Para a seção de aço em que os esforços de tração e compressão sejam iguais, sua definição é dada pela equação de equilíbrios de forças na seção, R_{cc} . (ABNT NBR 6118, 2014).

Junto a isso se faz necessário verificar o momento fletor reduzido adimensional, para que seja possível definir se a armadura será simples ou dupla. A condição para isso será $\mu < \mu_{lim}$. A equação 3 a seguir demonstra como determinar esse valor.

$$\mu = \frac{M_d}{b \times d^2 \times \sigma_{cd}} \quad (3)$$

Onde:

μ : momento fletor reduzido adimensional;

M_d : momento de cálculo (kN/cm);

b : menor largura da seção (cm);

d : altura útil da seção (cm);

σ_{cd} : tensão de cálculo à compressão do concreto (kN/cm²) dado por $\sigma_{cd} = 0,85f_{cd}$;

Com essas determinações, torna-se possível definir a área de armadura necessária para resistir ao momento solicitante. A equação 4 demonstra esse cálculo.

$$A_s = w \times \frac{b \times d \times f_{cd}}{f_{yd}} \quad (4)$$

Onde:

A_s : área de armadura (cm²);

w : taxa mecânica da armadura;

b : menor largura da seção (cm);

d : altura útil da seção (cm);

f_{cd} : resistência de cálculo à compressão do concreto (kN/cm²);

f_{yd} : resistência de cálculo ao escoamento do aço da armadura.

Sendo:

$$w = \lambda \times k_x \quad (5)$$

$$k_x = \frac{1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}}{\lambda} \quad (6)$$

Para f_{cd} e f_{yd} a NBR 6118 (ABNT, 2014) traz as seguintes definições: resistência à compressão do concreto dividido pelo coeficiente de segurança para concreto, e resistência ao escoamento do aço dividida pelo coeficiente de segurança para aço, respectivamente. Esta mesma norma determina valores de coeficiente de segurança para concreto e aço: 1,4 e 1,15, respectivamente.

2.5.3.1.2 Cortante

A NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 135) define:

A resistência do elemento estrutural, em uma determinada seção transversal, deve ser considerada satisfatória, quando verificadas simultaneamente as seguintes condições:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3} = V_C + V_{Sw}$$

Onde:

V_{Sd} é a força cortante solicitante de cálculo, na seção;

V_{Rd2} é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto, [...];

$V_{Rd3} = V_C + V_{Sw}$ é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal, onde V_C é a parcela da força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça e V_{Sw} a parcela resistida pela armadura transversal, [...].

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), existem dois modelos de cálculo para determinação da resistência do elemento estrutural. O primeiro admite diagonais de compressão inclinadas a 45° em relação ao eixo longitudinal.

As expressões 7 e 8 definem a verificação da compressão diagonal do concreto e o cálculo da armadura transversal, respectivamente.

$$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_{V2} \times f_{cd} \times b_w \times d \quad (7)$$

$$V_{Rd3} = V_C + V_{Sw} \quad (8)$$

Onde:

V_{Rd2} : verificação da compressão diagonal no concreto (kN);

$\alpha_{V2} = (1 - f_{ck}/250)$ e f_{ck} , expresso em MPa;

f_{cd} : resistência à compressão de cálculo do concreto (kN/cm²);

b_w : menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil (cm);

d: altura útil da seção, ou seja, distancia da borda comprimida ao centro de gravidade da armadura de tração (cm);

V_{Rd3} : cálculo da armadura transversal (kN);

$$V_{SW} = (A_{SW}/s) \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times (\text{sen } \alpha + \cos \alpha) \quad (\text{kN}); \quad (9)$$

$$V_C = V_{C0} = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad (\text{kN}); \quad (10)$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c \quad (\text{kN/cm}^2); \quad (11)$$

A_{SW} : área da seção transversal dos estribos (cm²).

Quando submetidos à força cortante, os elementos lineares devem possuir estribos para compor a armadura transversal mínima exigida (ABNT NBR 6118, 2014). A equação 12 descreve o modo pelo qual se pode obter essa armadura mínima exigida.

$$\frac{A_{SW}}{s} = \frac{V_{SW}}{0,9 \times d \times f_{ywd}} \quad (12)$$

Onde:

A_{SW} : área da seção transversal dos estribos (cm²);

s: espaçamento entre os eixos dos estribos;

d: altura útil da seção;

f_{ywd} : valor de cálculo de escoamento do aço;

2.5.3.2 Estado-Limite de Serviço

A NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 5) define Estado-Limite de Serviço como “estado em que se inicia a formação de fissuras”.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as combinações neste estado-limite diferem das combinações citadas para o estado-limite anterior. Sua permanência na estrutura define sua classificação. Para suas verificações são estabelecidas da seguinte forma:

- a) quase permanentes: podem atuar durante grande parte do período da vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas;
- b) frequentes: repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações

de estados-limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;
 c) raras: ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de formação de fissuras (ABNT NBR 6118, 2014, p. 68).

A tabela 4 representa a tabela 11.4 da ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), dispondo as combinações neste formato para facilitar a visualização.

Tabela 4 - Combinações de serviço

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \psi_1 F_{q1k} + \sum \psi_{2j} F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} F_{qjk}$
onde: $F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinação de serviço; F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas; ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS; ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.		

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 69)

Neste estado-limite, a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 124) afirma que “[...] as estruturas trabalham parcialmente no estágio I e parcialmente no estágio II. A separação entre esses dois comportamentos é definida pelo momento de fissuração”. Para definir a separação dos estádios no estado-limite de serviço calcula-se o momento de fissuração dado pela equação abaixo.

$$M_{rd} = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{y_t} \quad (13)$$

$$M_{rf} = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{y_t} \quad (14)$$

Sendo:

α : 1,5 para seções retangulares;

Onde:

M_{rf} : Momento de fissuração para o estado-limite de formação de fissuras (kNcm)

M_{rd} : Momento de fissuração para o estado-limite de deformação excessiva (kNcm)

α : fator que correlaciona aproximadamente à tração na flexão com resistência à tração direta;

y_t : distância do centro de gravidade até a borda mais tracionada (cm);

I_c : momento de inércia da seção (cm⁴);

f_{ct} : resistência à tração direta do concreto. Para determinação do momento de fissuração, deve ser usado o $f_{ctk,inf}$ no estado-limite de formação de fissuras e o $f_{ct,m}$ no estado-limite de deformação excessiva (kN/cm²).

Para verificação no estado-limite de serviço, NBR 6118 (ABNT, 2014), recomenda que seja utilizado o módulo de elasticidade secante. A tabela 4 demonstra valores estimados pela norma para esse módulo.

Tabela 5 - Combinações de serviço

Classes de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,85	0,86	0,88	0,89	0,9	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 25)

2.5.3.2.1 Estado-limite de Deformação

Através dos modelos que contemplam a rigidez efetiva das seções, a NBR 6118 (ABNT, 2014) exige a verificação dos limites estabelecidos para a deformação da estrutura, analisados isoladamente e submetidos à combinação das ações. Para passarelas, esse valor é considerado, por causar efeitos visuais desagradáveis aos

usuários, como aceitabilidade sensorial. Sendo assim, o limite para deslocamento se dá por $l/250$, onde l é o vão considerado.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) sugere uma avaliação aproximada da flecha imediata em vigas. A equação 15 trata da rigidez equivalente dada pela norma para essa avaliação.

$$(EI)_{eq} = E_{cs} \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \times I_c + \left[1 - \left(\frac{M_{rf}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{II} \right\} \leq E_{cs} \times I_c \quad (15)$$

Onde:

$(EI)_{eq}$: módulo de elasticidade equivalente (kN/cm^2);

I_c : momento de inércia da seção do concreto (cm^4);

I_{II} : momento de inércia da seção fissurada de concreto (cm^4), calculada com

$$\alpha_e = E_s/E_{cs};$$

M_a : momento fletor na seção crítica do vão considerado (kNm);

M_{rf} : momento de fissuração do elemento estrutural (kNm);

E_{cs} : módulo de elasticidade secante do concreto (kN/cm^2), dado por $E_{cs} = 0,85 \times 5600 \times f_{ck}^{1/2}$.

Com base na equação de deformação elástica para uma viga biapoada sujeita a uma carga uniformemente distribuída, pode-se calcular a flecha imediata.

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{F_{d, serv} \times l^4}{(EI)_{eq}} \quad (16)$$

Onde:

f : flecha imediata (cm);

$F_{d, serv}$: solicitação quase permanente de serviço (kN/cm);

$(EI)_{eq}$: módulo de elasticidade equivalente (kN/cm^2);

l : vão efetivo da viga (cm).

Assim como a flecha imediata, a flecha diferida também deve ser avaliada. Esta decorre de cargas de longa duração, podendo ser calculada de maneira aproximada pela multiplicação do fator α_f pela flecha imediata, que deve ser calculada anteriormente (ABNT NBR 6118, 2014). O fator α_f dado na equação 17.

$$\alpha_f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \times \rho'} \quad (17)$$

Sendo:

$$\rho' = A_s'/bd; \quad (18)$$

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0); \quad (19)$$

Onde:

$$\xi(t_0) = 0,68 (0,996^t) t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}; \quad (20)$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t \leq 70 \text{ meses.}$$

2.5.3.2.2 Estado-limite de Fissuração

Os valores estabelecidos para a abertura de fissuras da estrutura devem ser analisados isoladamente e submetidos à combinação das ações. Para o entorno da passarela, a classe de agressividade ambiental considerada, por encontrar-se em ambiente urbano, será de tipo II. Logo, a exigência relativa à fissuração é dada por $w_k \leq 0,3\text{mm}$ (ABNT NBR 6118, 2014).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que o menor valor obtido pelas duas equações 21 e 22 deve ser considerado como o valor característico da abertura de fissuras, w_k .

$$w_k = \frac{\Phi_1}{12,5 \times \eta_1} \times \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \times \frac{3 \times \sigma_{si}}{f_{ctm}} \quad (21)$$

$$w_k = \frac{\Phi_1}{12,5 \times \eta_1} \times \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \times \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (22)$$

Onde:

Φ_i : diâmetro da barra que protege a região considerada (mm);

η_1 : coeficiente para cálculo da tensão de aderência da armadura passiva;

σ_{si} : tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada (kN/cm²);

E_{si} : módulo de elasticidade do aço da barra considerada (kN/cm²);

f_{ctm} : resistência média à tração do concreto (kN/cm²);

ρ_{ri} : taxa de armadura passiva ou ativa aderente em relação à área da região considerada.

2.5.4 Dimensionamento Concreto Têxtil

Assim como o concreto armado, o CT necessita que seja realizada a combinação das ações. A NBR 8681 (ABNT, 2004) sugere os requisitos exigidos

para calcular e verificar a segurança das estruturas usuais da construção civil. Esta combinação normal é definida pela NBR 8681 (ABNT, 2004) através da equação 23:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \times F_{Gi,k} + \gamma_q \times [F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} \times F_{Qj,k}] \quad (23)$$

Onde:

F_d : valor de cálculo das ações para combinação última (kN/m);

γ_{gi} : coeficiente de ponderação;

$F_{Gi,k}$: valor característico das ações permanentes (kN/m);

γ_q : coeficiente de ponderação;

$F_{Qi,k}$: valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação (kN/m);

$\psi_{0j} \times F_{Qj,k}$: valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis (kN/m).

2.5.4.1 Estado Limite Último

Com base nos resultados de investigações experimentais e teóricas, Voss e Hegger (2006) desenvolveram métodos de dimensionamento para flexão simples e esforço cortante permitindo o dimensionamento de estruturas de CT.

2.5.4.1.1 Flexão Simples

Para o dimensionamento do CT, Voss e Hegger (2006) realizaram uma analogia ao concreto armado. Sendo assim, definiram uma equação para determinar o momento resistente de vigas baseando-se no braço de alavanca e na resistência à tração do reforço têxtil.

$$M_u = k_{fl,\rho} \times f_{ctu} \times z \quad (24)$$

Onde:

M_u : momento resistente do CT (kNm);

$k_{fl,\rho}$: coeficiente de carregamento à flexão;

f_{ctu} : resistência à tração do reforço têxtil (kN);

z : braço de alavanca interno (m).

Sendo o valor da resistência à tração do reforço têxtil definido por Voss e Hegger (2006) através de investigações anteriores e demonstrada na equação 25:

$$f_{ctu} = A_t \times f_t \times k_1 \times k_{0,\alpha} \times k_2 \quad (25)$$

Onde:

A_t : área transversal do reforço (cm²);

f_t : resistência à tração do reforço (kN/cm²);

k_1 : fator de eficiência;

$k_{0,\alpha}$: fator para orientação do reforço;

k_2 : fator para carregamento biaxial.

O fator de eficiência, k_1 , pode ser determinado como a razão entre a resistência média medida do reforço embutido no concreto e a resistência à tração do filamento (VOSS; HEGGER, 2006).

Após a realização de alguns ensaios, Hegger e Voss (2008) definiram um valor médio para o valor de k_1 para alguns tipos de reforços. Na tabela 6 estão representados dois deles.

Tabela 6 - Fator de eficiência k_1

Fibra	K_1
Vidro AR (Impregnada com epóxi)	0,66
Carbono	0,19

Fonte: Adaptado Hegger e Voss (2008, p. 2052)

Como a resistência à tração do reforço diminui linearmente com o aumento do ângulo entre a direção da força de tensão e o alinhamento das mechas da fibra, o fator $k_{0,\alpha}$ representa essa inter-relação através da seguinte 26:

$$k_{0,\alpha} = 1 - \frac{\alpha}{90} \quad (26)$$

Onde:

α : ângulo entre a direção da força de tração e o alinhamento das fibras, variando entre 0 e 90°.

Para determinação do fator para carregamento biaxial, k_2 , Hegger, Will e Schneider (2011) obtiveram, através de métodos empíricos, dois valores para este

coeficiente: para tensão lateral, o valor de $k_2 = 0,74$, e para compressão transversal $k_2 = 1$.

Assim como os coeficientes anteriores, o coeficiente de carregamento à flexão também foi determinado empiricamente. Hegger e Voss (2008) definem valores distintos para cada tipo de fibra, descritos na tabela 7.

Tabela 7 - Coeficiente de carregamento à flexão $k_{fl,p}$

Fibra	$K_{fl,p}$
Vidro AR	1,0
Carbono	$1,0 + 0,4 \cdot \rho_f$

Fonte: Adaptado Hegger e Voss (2008, p. 2054)

2.5.4.1.2 Cortante

A capacidade de cisalhamento de uma viga de concreto reforçado pode ser descrita por um modelo de treliça (HEGGER; SHERIF; GÖRTZ, 2005).

Com base nas investigações e no modelo citado acima, Voss e Hegger (2006) definiram uma analogia para a capacidade de cisalhamento, onde afirmam que a mesma é composta por uma contribuição da treliça e outra contribuição do concreto, demonstrada na expressão abaixo:

$$V = V_F + k_f \times V_{c,f} \quad (27)$$

Onde:

V : capacidade de cisalhamento da viga (kN);

V_F : componente referente à contribuição do reforço têxtil (kN);

k_f : fator de combinação;

$V_{c,f}$: componente referente à contribuição do concreto (kN).

O componente referente à treliça deve partir do princípio da resistência ao cisalhamento do reforço e da resistência referentes às bielas comprimidas, respectivamente demonstradas na equação abaixo.

$$V_F = \min \left\{ \begin{array}{l} (a_{fw,v} \times f_{t,res,v}) \times z \times \cot \beta_r \\ 0,297 \times f_{cm} \times b_w \times \frac{z}{(\cot \beta_r + \tan \beta_r)} \end{array} \right. \quad (28)$$

V_F : componente referente à contribuição do reforço têxtil (kN);

$a_{fw,h}$: área transversal do reforço vertical ao cisalhamento (cm²);

$f_{t, res, v}$: resistência à tração do reforço (kN/cm²);

z : braço de alavanca interno (cm);

β_r : ângulo de cisalhamento (°);

f_{cm} : resistência a compressão do concreto (kN/cm²);

b_w : espessura efetiva da alma (cm).

O valor considerado para V_F deve ser o menor entre os dois (VOSS, 2008).

Para o cálculo da cotangente do ângulo de cisalhamento, $\cot\beta_r$, Voss (2008) adaptou a equação apresentada por Hegger, Sherif e Görtz (2005). Porém, um estudo realizado por Kulas (2013), determina o valor de β_r para uma média de 44°, resultando em uma $\cot\beta_r$ de 1,0.

Voss e Hegger (2006) definem a contribuição do concreto como a resistência ao cisalhamento do elemento não reforçado baseando-se em normas alemãs. A equação 29 demonstra esse componente referente ao concreto.

$$V_{c,f} = 1,5 \times 0,1 \times \eta_1 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{cm})^{1/3} \times b_w \times d \quad (29)$$

Onde:

$V_{c,f}$: componente referente à contribuição do concreto (kN);

η_1 : fator de correção, para concreto normal seu valor será igual a 1,0;

k : fator de escala;

ρ_1 : taxa de reforço longitudinal;

f_{cm} : resistência a compressão do concreto (kN/cm²);

b_w : espessura efetiva da alma (cm);

d : altura útil (cm).

Sendo o fator de escala dado por:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad (30)$$

Onde:

k : fator de escala;

d : altura útil (cm).

A taxa de reforço longitudinal é dada por:

$$\rho_1 = \frac{A_{fl}}{b_w \times d} \leq 0,02 \quad (31)$$

Onde:

ρ_1 : taxa de reforço longitudinal;
 A_{rl} : área transversal do reforço (cm²);
 b_w : espessura efetiva da alma (cm);
 d : altura útil (cm).

Conforme descrito anteriormente, a contribuição do concreto depende do fator de combinação k_f , representado na equação a seguir.

$$k_f = 1 - \frac{\omega_{ct}}{3} \geq 0 \quad (32)$$

Onde:

K_f : fator de combinação

ω_{ct} : taxa de armadura mecânica.

Sendo a taxa de armadura:

$$\omega_{ct} = \frac{A_t \times \sigma_{max}}{b_w \times f_{ct}} \quad (33)$$

Onde:

A_t : área transversal da armadura de cisalhamento (cm²);

σ_{max} : resistência a tração do reforço (kN/cm²);

b_w : espessura efetiva da alma (cm);

f_{ct} : resistência a tração do concreto (kN/cm²).

3 METODOLOGIA

Serão apresentados nesse capítulo os métodos de dimensionamento de uma passarela em CT e em concreto armado, bem como os métodos utilizados para a análise e comparação das metodologias adotadas e do custo-benefício entre os materiais.

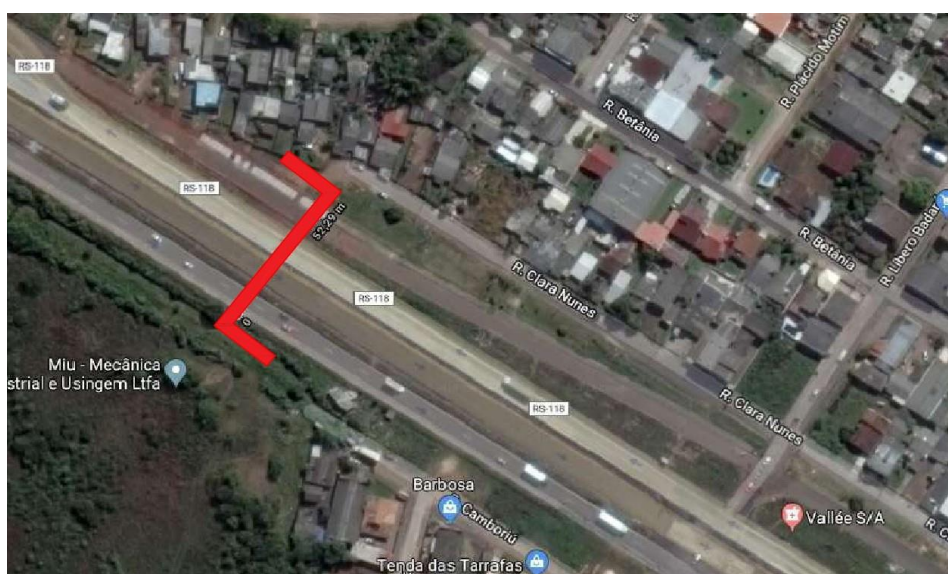
3.1 PASSARELA

As definições para o início do dimensionamento da passarela foram fundamentadas nas orientações da ISF nº 19 - Projeto de Passarela para Pedestres do DNIT de 2016, entre elas as de localização, tipologia e geometria desta estrutura, sendo esta última fundamentada também na ABNT NBR 9050 (ABNT, 2013).

3.1.1 Localização

A localização da passarela será em uma rodovia estadual que está em processo de duplicação. O trecho escolhido está situado na cidade de Cachoeirinha, aproximadamente no quilometro 9 da rodovia, no estado do Rio Grande do Sul. A figura 7 aponta a localização exata através do traçado em destaque.

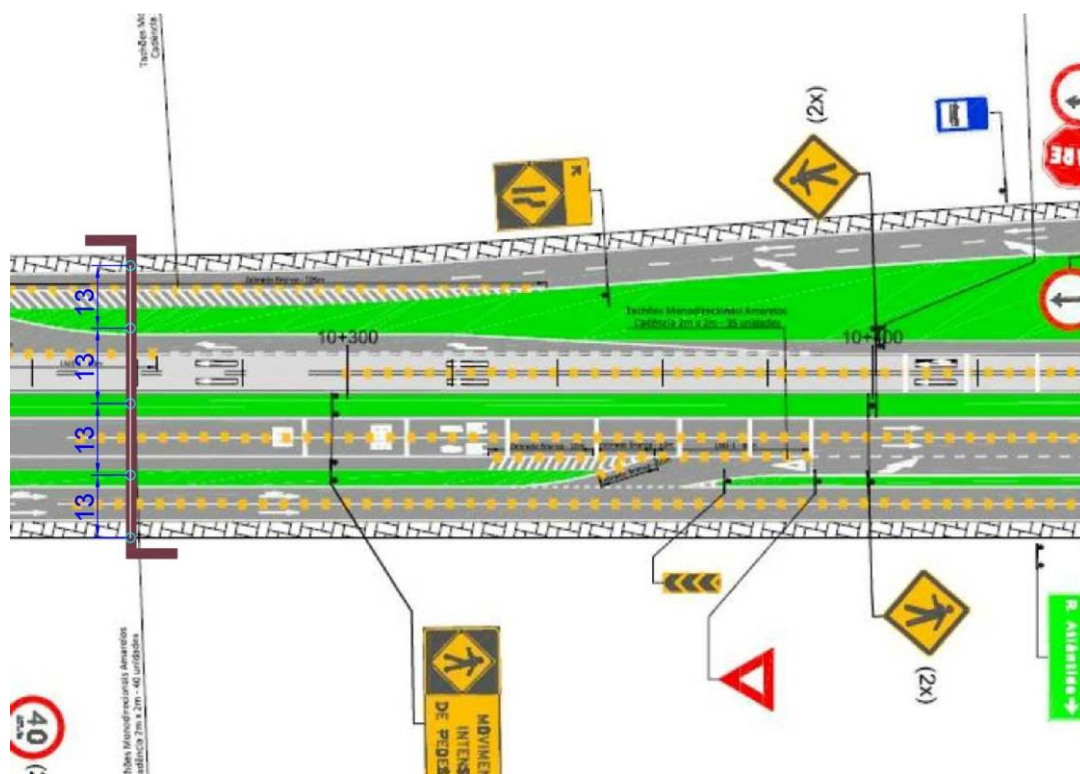
Figura 7 – Imagem do Google Maps de Cachoeirinha - RS: Localização da passarela



Fonte: Cachoeirinha - RS (2018)

O projeto de duplicação disponibilizado pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do estado do Rio Grande do Sul (DAER-RS) demonstra como ficará a rodovia. A figura 8 apresenta a proposta para a disposição da passarela de pedestres no local através do traçado em destaque acompanhado das cotas do vão.

Figura 8 – Projeto da rodovia com a proposta da passarela



Fonte: Adaptado do projeto DAER (RODRIGUES, 2018)

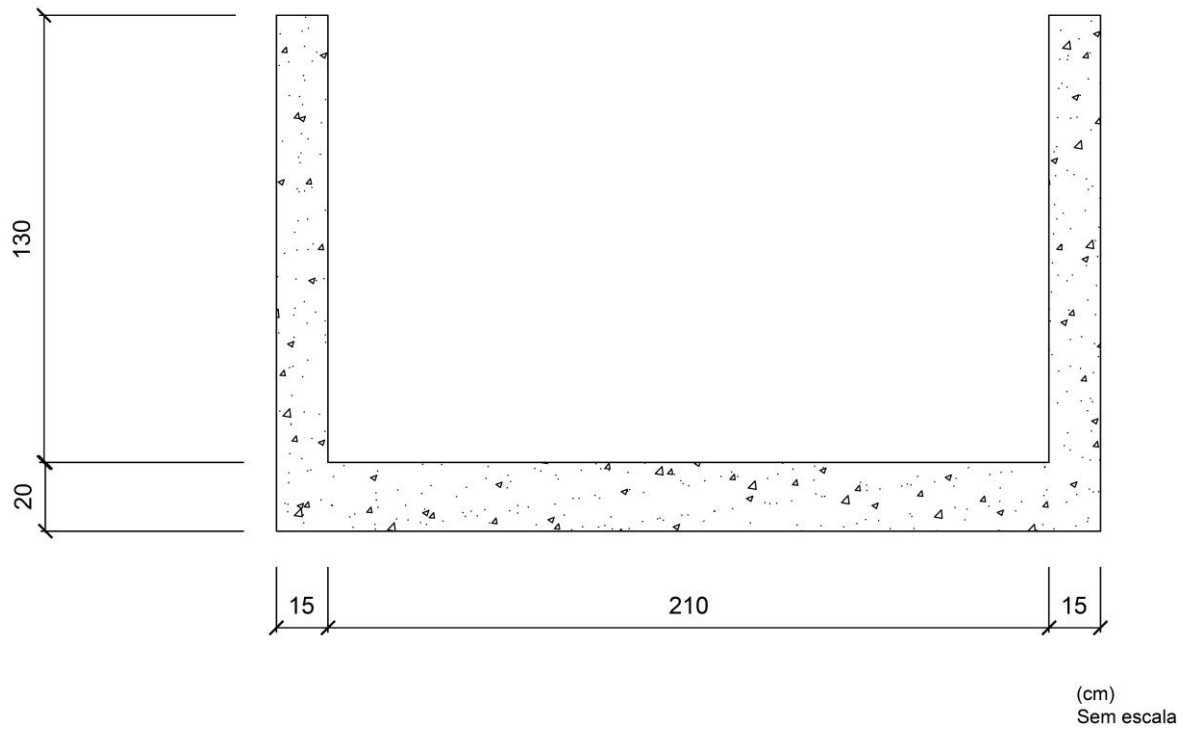
3.1.2 Tipologia e Geometria

No presente trabalho, foi admitido o tipo sobrejacente para a passarela, ou seja, a superestrutura da via estava em nível inferior ao nível da passarela. Com isso e para atender a ISF nº 219 (DNIT, 2016), determinou-se uma largura de dois metros e dez centímetros para essa tipologia.

A seção transversal admitida foi a de tipo U, onde a parcela vertical da seção serviu também como guarda-corpo com dimensão de um metro e trinta centímetros de altura, satisfazendo a ABNT NBR 9050 (ABNT, 2015).

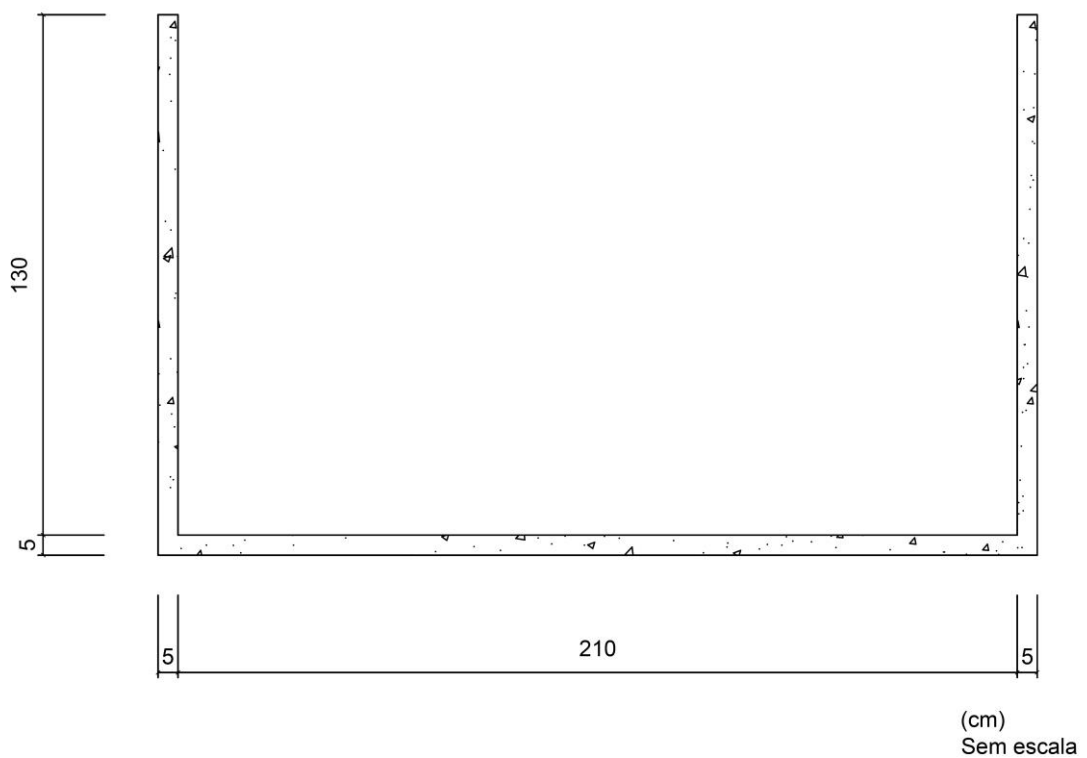
A figura 9 demonstra a seção transversal proposta para o dimensionamento da passarela em concreto armado, e a figura 10 para CT.

Figura 9 – Seção transversal proposta para concreto armado



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Figura 10 – Seção transversal proposta para concreto têxtil (CT)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

3.2 DETERMINAÇÃO DAS CARGAS

Para a determinação das cargas admitidas para o dimensionamento da passarela, foram utilizadas as recomendações da ABNT NBR 7188 (ABNT, 2013), que define a carga móvel de pedestre em pontes e outras estruturas, bem como a NBR 6118 (ABNT, 2014), sobre carga permanente e peso próprio.

Junto a estas informações, faz-se necessária a definição do vão a ser calculado e do modelo estrutural da peça. Logo, para satisfazer o vão do local no valor de 52 m, foram determinado quatro vãos de 13 m, sendo eles vencidos por vigas biapoiadas.

Com estas informações, é possível realizar os dimensionamentos abordados para comparativo de metodologias.

3.3 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO ARMADO

O dimensionamento das passarelas em concreto armado fora realizado conforme as recomendações da ABNT NBR 7187 (ABNT, 2003), que determina que o dimensionamento de projetos de pontes em concreto armado, e conforme as recomendações da ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), que define os procedimentos de um projeto e o dimensionamento de estruturas de concreto armado.

3.4 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO TÊXTIL

Como os estudos sobre o CT ainda estão em fase de aperfeiçoamento, não há procedimentos normativos em âmbito nacional. Porém, a Universidade de Aachen, na Alemanha, possui estudos em desenvolvimento e estruturas já executadas com o material.

Sendo assim, o dimensionamento da passarela em CT foi fundamentado nas pesquisas e estudos de:

- a) Voss e Hegger (2006);
- b) Hegger e Voss (2008);
- c) Hegger, Will e Schneider (2011);
- d) Voss (2008);
- e) Hegger, Sherif e Görtz (2005).

3.5 METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO

A análise e comparação das metodologias de dimensionamento foram feitas através de textos fundamentados nos dimensionamentos presentes neste trabalho em conjunto com literaturas.

3.6 CONSUMO E CUSTO DE MATERIAL

Para a análise e comparação do consumo e do custo de material entre os dois modelos propostos foram desenvolvidas planilhas em Excel onde foram expostos os consumos e custos de cada material, sendo, logo após, comparados.

A base para os dados de custo do concreto foram estimados através de dados coletados em concreteira da região, situada na cidade de Canoas/RS. Para fibra a estimativa foi obtida pela empresa Texiglass, localizada da cidade de Vinhedo/SP.

O comparativo de custos contempla apenas os materiais principais, concreto e reforço. Os valores de mão de obra, entre outros custos não foram contemplados.

4 DIMENSIONAMENTO DA PASSARELA

4.1 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO ARMADO

Para determinar a carga suportada no dimensionamento da passarela em concreto armado foi ser considerado o peso próprio do material, bem como a carga móvel que será aplicada. Ambos são discutidos no item 2.5.2.

Como informação adicional necessária, o concreto utilizado para o dimensionamento foi de 30 MPa, em concordância com a classe de agressividade ambiental.

4.1.1 Determinação da Carga em Concreto Armado

Como discutido no item 2.5.2, o peso próprio do concreto armado determinado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) é de 25 kN/m³. Para definir a carga por metro deve-se multiplicar este valor pela área da seção transversal do elemento a ser calculado.

$$G = A \times \gamma_c = 21,75 \text{ kN/m} \quad (34)$$

Onde:

G: peso próprio do concreto (kN/m);

A: área da seção da passarela (m²);

γ_c : peso específico do concreto armado (kN/m³).

Fora discutido também no item 2.5.2 as cargas móveis. Esse valor, sugerido pela NBR 7188 (ABNT, 2013), deve ser multiplicado pela largura equivalente, que será de 2,10 m.

$$\text{Carga móvel} = \text{carga normativa} \times \text{largura} = 10,5 \text{ kN/m} \quad (35)$$

4.1.2 Dimensionamento no Estado-Limite Último

Para o dimensionamento no ELU, foram consideradas as hipóteses básicas citadas no item 2.5.3.1 do presente trabalho.

4.1.2.1 Combinação das ações

Considerando que as cargas permanentes e variáveis são cargas normais e, com base na tabela 11.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), citada no item 2.5.2, os valores dos coeficientes de ponderação utilizados foram de 1,4, a combinação última normal é dada por:

$$F_d = 1,4 \times G + 1,4 \times \text{Carga móvel} = 45,15 \text{ kN/m} \quad (36)$$

Onde:

F_d : valor de cálculo das ações para combinação última (kN/m);

G: peso próprio da passarela (carga permanente em kN/m);

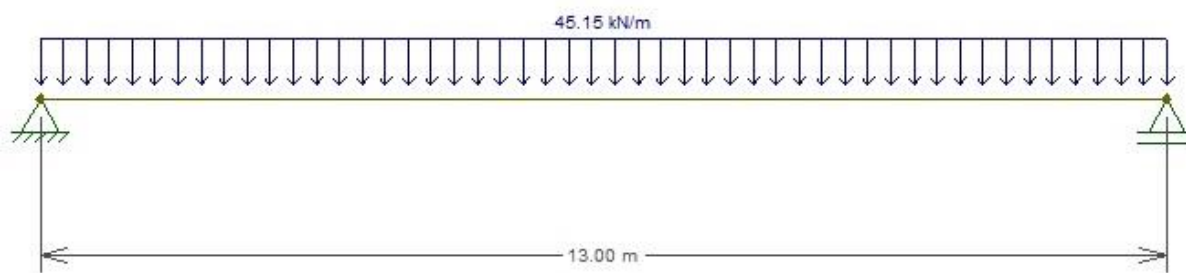
Com base nestas informações, torna-se possível realizar a análise estrutural da peça.

4.1.2.1.1 Análise Estrutural

Com base nos princípios da NBR 6118 (ABNT, 2014) e nas cargas determinadas, foram anexados no software FTOOL as informações da peça estrutural, das cargas e do material a ser utilizado.

Com isso, o software gerou o modelo estrutural, representado na figura 11, bem como os diagramas de solicitações internas que estão representados nas figuras 12 e 13, que correspondem, respectivamente, ao diagrama de esforço cortante e ao diagrama de momento fletor.

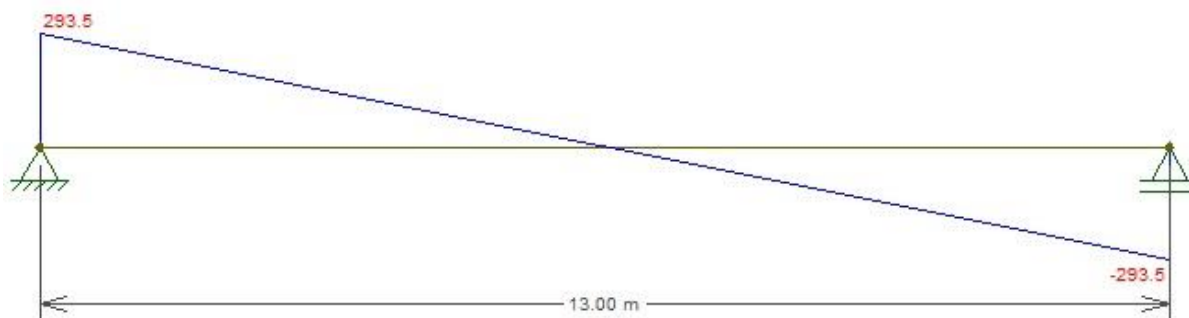
Figura 11 – Modelo estrutural com carregamento adotado para passarela em concreto armado



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

A figura 11 demonstra o modelo estrutural utilizado para o dimensionamento em concreto armado, com uma carga uniformemente distribuída de 45,15 kN/m.

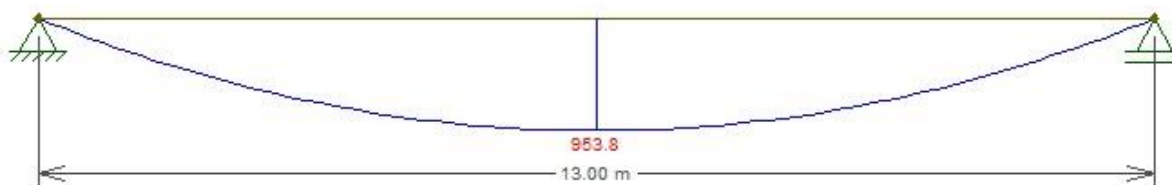
Figura 12 – Diagrama de esforço cortante da passarela em concreto armado (em kN)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Na figura 12 observou-se o diagrama de esforço cortante com uma resultante de 293,5 kN.

Figura 13 – Diagrama de momento fletor da passarela em concreto armado (em kNm)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

O diagrama de momento fletor, demonstrado na figura 13, gerou uma resultante de momento máximo no valor de 953,8 kNm.

4.1.2.2 Flexão Simples

O dimensionamento à flexão simples necessita algumas informações já especificadas neste trabalho, tais como, a classe de agressividade ambiental, que, neste caso, foi a classe II, o momento fletor solicitante, M_k , de 953,8 kNm, e outras.

Considerando que a NBR 6118 (ABNT, 2014) determina um coeficiente de segurança de 1,4, o momento fletor solicitante de cálculo foi de 133532,00 kNcm.

Sendo assim, o valor de f_{cd} para um concreto de f_{ck} igual a 30 MPa foi de 2,14 kN/cm², e em consequência σ_{cd} fora de 1,819 kN/cm².

Sabendo que a classe II de agressividade ambiental exige um cobrimento mínimo de 3 cm, tornou-se possível definir a altura útil, onde d foi igual a 145,5 cm.

Com esses valores definidos, junto com b igual a 30 cm, determinou-se um momento fletor reduzido de 0,115. Sendo ele menor que μ_{lim} (0,2952), considerou-se utilizar armadura simples.

Estabelecendo que o aço utilizado para a armadura é o CA50 com f_{yd} de 43,48 kN/cm², junto a $k = 1,54$ e, conseqüentemente, $w = 0,123$, determinou-se uma área de armadura igual a 26,46 cm². Para esta área adotou-se 6 barras de diâmetro igual a 25 mm com espaçamento de 39 cm entre elas, totalizando uma área de aproximadamente 30,00 cm².

Para satisfazer solicitações não contempladas neste trabalho, fora considerada a armadura de pele, descrita pela NBR 6118 (2014), com 8 barras de 10 mm com espaçamento de 20 cm entre elas, em cada um dos guarda-corpos.

4.1.2.3 Cortante

Seguindo as especificações anteriormente citadas, juntamente com informações adicionais, tornou-se possível verificar e determinar o dimensionamento à força cortante.

Sendo assim, admitindo-se que α_{v2} seja igual a 0,88, bem como $f_{cd} = 2,14$ kN/cm², $b_w = 30$ cm e $d = 145,5$ cm, determinou-se o valor de V_{Rd2} igual a 2219,45 kN. E, sabendo que V_{sd} igual a 410,9 kN, a condição de $V_{sd} < V_{Rd2}$ é atendida.

Considerando o valor de f_{ctd} igual a 0,31 kN/cm² e conseqüentemente $V_c = 817,16$ kN, obteve-se $V_{sw} = 1402,29$ kN. Para a armadura foi determinado o aço CA50 com f_{ywd} de 43,48 kN/cm², sendo, assim, possível concluir que a área de armadura necessária foi de 0,25 cm², ou seja, armadura de diâmetro de 10mm com espaçamento de 6 cm.

4.1.2 Dimensionamento no Estado-Limite de Serviço

Para o dimensionamento no ELS foi realizado o cálculo para cada combinação de serviço utilizando a tabela citada no item 2.5.3.2.

4.1.2.1 Combinação das Ações

Para combinação das ações necessita-se da definição dos fatores de redução de combinação. Sendo assim, Marchetti (2009) e a ABNT NBR 8681 (ABNT, 2003) sugerem para passarelas de pedestres os coeficientes nos valores de $\psi_1 = 0,4$ e $\psi_2 = 0,3$.

Logo, as combinações das cargas quase permanentes e frequentes de serviço estão, respectivamente, representadas abaixo.

$$F_{d,ser} = G + \psi_1 \times \text{Carga móvel} = 21,75 + 0,3 \times 10,5 = 24,90 \text{ kN/m} \quad (37)$$

$$F_{d,ser} = G + \psi_2 \times \text{Carga móvel} = 21,75 + 0,4 \times 10,5 = 25,95 \text{ kN/m} \quad (38)$$

Onde:

$F_{d,ser}$: valor calculado das ações combinadas para serviço (kN/m);

G: peso próprio da estrutura, ou seja, carga permanente (kN/m);

ψ_1 e ψ_2 : coeficientes de redução.

Utilizando a equação descrita no item 2.5.3.2 e valores de inércia e centro de gravidade de, respectivamente, $5.652.500 \text{ cm}^4$ e $43,62 \text{ cm}$, calculou-se os momentos de fissuração nos estados-limites de formação de fissura e de deformação.

$$M_{rd} = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{y_t} = \frac{1,5 \times 0,2896 \times 5652500}{43,62} = 56290,86 \text{ kNcm} = 562,91 \text{ kNm} \quad (39)$$

$$M_{rf} = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{y_t} = \frac{1,5 \times 0,2027 \times 5652500}{43,62} = 39400,34 \text{ kNcm} = 394,00 \text{ kNm} \quad (40)$$

Onde:

f_{ct} : Para o estado-limite de formação de fissuras deve ser usado o $f_{ctk,inf}$, no valor de $0,2027 \text{ kN/cm}^2$. E no estado-limite de deformação excessiva deverá ser definido por $f_{ct,m}$, no valor de $0,2896 \text{ kN/cm}^2$.

4.1.2.2 Estado-limite de Deformação

Inicialmente, para a verificação no estado-limite de deformação, há a necessidade de determinar o módulo de elasticidade equivalente. Logo, admitindo-se que E_{cs} seja igual a $26071,59 \text{ MPa}$, $I_c = 5652500 \text{ cm}^4$, $I_{II} = 1763837,32 \text{ cm}^4$, $M_{rf} = 39400 \text{ kNcm}$ e $M_a = 95380 \text{ kN/cm}$, concluiu-se que $(EI)_{eq}$ resultou em $5313241749,0 \text{ kN/cm}^2$.

Com base nos valores calculados junto a $F_{d, \text{serv}} = 25,95 \text{ kN/m}$ e $l = 13,40 \text{ m}$, foi possível determinar uma flecha imediata de 2,05 cm.

Para a determinação da flecha diferida, considerou-se $\Delta\xi = 2$, $\rho = 0,00032$ e, conseqüentemente, $\alpha f = 1,73$. Com isso, obteve-se uma flecha de 3,54 cm.

Sabendo que a flecha limite é no valor de 5,36 cm, as flechas calculadas estão no limite de aceitação.

4.1.2.3 Estado-limite de Fissuração

A determinação do valor característico de abertura das fissuras, W_k , considera o diâmetro da armadura, assim como suas características junto ao concreto.

Logo, supondo uma armadura de diâmetro igual a 25 mm, η_1 , definido por norma, no valor de 1,5, σ_{si} de 240 MPa, E_{si} de 210 GPa, f_{ctm} igual a 0,62 e ρ_{ri} igual a 0,0032, obteve-se dois valores para W_k , sendo eles, respectivamente, de 0,18 mm e 1,97 mm.

De acordo com a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), o valor para W_k deve ser o menor entre os dois. Logo, a resultante deste foi de 0,18 mm, atendendo à especificação que a mesma norma exige de $\leq 0,30 \text{ mm}$.

4.2 DIMENSIONAMENTO EM CONCRETO TÊXTIL

Para determinar a carga suportada no dimensionamento da passarela em CT, considerou-se o peso próprio do material, bem como a carga móvel que será aplicada. Estes estão discutidos no item 2.5.2.

4.2.1 Determinação da Carga em Concreto Têxtil

Como discutido no item 2.5.4, o peso específico do CT determinado por Hegger et al (2010) é de 22,124 kN/m³. Logo, para definir a carga por metro do elemento deve-se multiplicar este valor pela área da seção transversal.

$$G = A \times \gamma_{CT} = 5,301 \text{ kN/m} \quad (41)$$

Sendo:

G: peso próprio da passarela em CT (kN/m);

A: área da seção transversal (m²);

γ_{CT} : peso específico do CT (kN/m^3).

No item 2.5.2 foram discutidas as cargas móveis. Com esse valor sugerido pela NBR 7188 (ABNT, 2013), deve-se multiplicar pela largura do tabuleiro, que será de 2,10 m.

$$\text{Carga móvel} = \text{carga normativa} \times \text{largura} = 10,5 \text{ kN/m} \quad (42)$$

Os coeficientes de ponderação para calcular a combinação das ações, discutida no item 2.5.4, foram nos valores de $\gamma_{gi} = 1,3$ e $\gamma_q = 1,5$. Para estes valores considerou-se as tabelas 2 e 4, respectivamente, da NBR 8186 (ABNT, 2004).

Logo, a combinação foi no valor de:

$$F_d = 1,3 \times G + 1,5 \times \text{Carga móvel} = 22,65 \text{ kN/m} \quad (43)$$

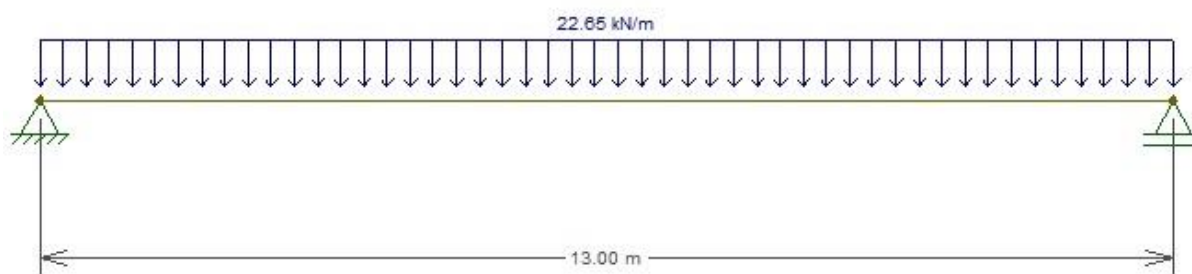
Estas informações tornam possível a realização da análise estrutural da peça.

4.2.1.1 Análise Estrutural

Assim como na análise estrutural realizada para o concreto armado, foram anexados no software FTOOL as informações da peça estrutural, das cargas e do material a ser utilizado para que seja realizada a mesma análise para o CT.

Sendo assim, obteve-se o modelo estrutural, representado na figura 14, o diagrama de esforço cortante, representado na figura 15, e o diagrama de momento fletor, representado na figura 16.

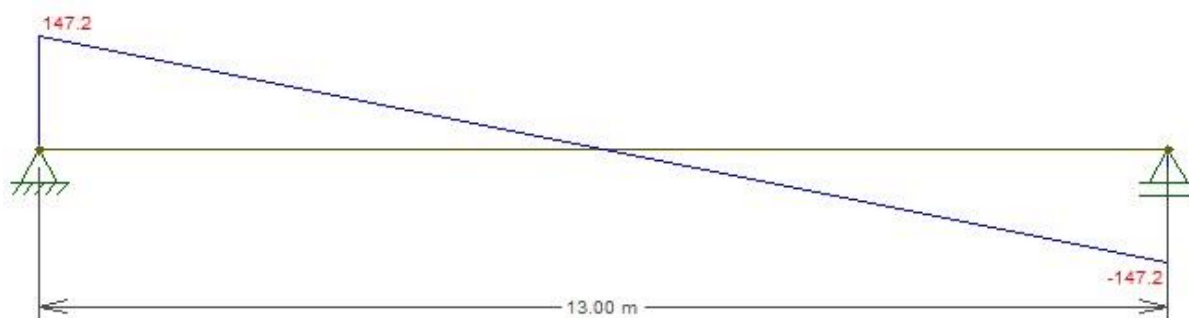
Figura 14 – Modelo estrutural com carregamento adotado para passarela em concreto têxtil (CT)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Na figura 14 observa-se o modelo estrutural da viga em concreto têxtil, com carga uniformemente distribuída de 22,65 kN/m.

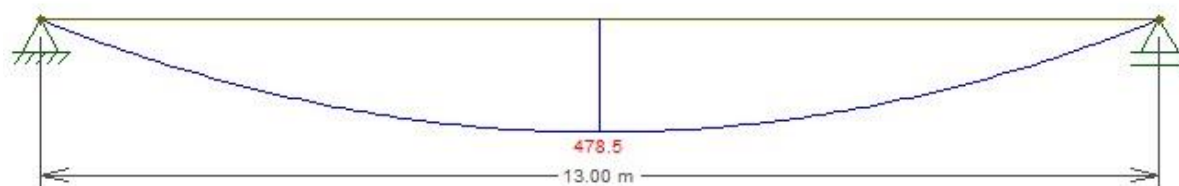
Figura 15 – Diagrama de esforço cortante da passarela em concreto têxtil (CT) (em kN)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

O diagrama de esforço cortante, demonstrado na figura 15, gerou uma resultante no valor de 147,2 kN.

Figura 16 – Diagrama de momento fletor da passarela em concreto têxtil (CT) (em kNm)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

A figura 16 demonstra o diagrama de momento fletor com uma resultante de momento máximo de 478,5 kNm.

4.2.2 Dimensionamento no Estado-limite Último

Para o dimensionamento realizado neste trabalho, foi determinado, por possuir uma maior eficiência, que o reforço será de fibra de vidro álcali resistente impregnada com epóxi. Apesar da matriz cimentícia do CT possuir alta resistência, considerou-se a mesma do concreto armado, no valor de 30 MPa, para um melhor comparativo.

4.2.2.1 Dimensionamento à Flexão Simples

De acordo com a analogia criada por Voss e Hegger (2006), para calcular o momento resistente do CT, necessita-se o valor da resistência à tração do reforço (f_{ctu}).

Hegger e Voss (2008) determinam alguns valores estabelecidos na tabela 8.

Tabela 8 – Valores Característicos do reforço

Material	Área Transversal cm ² /m	f_t (MPa)	Módulo Elasticidade (MPa)	K_1	$K_{0,\alpha}$ e K_2
Fibra de Vidro AR	1,05	1808	70.000	0,66	1,0

Fonte: Adaptado Hegger e Voss (2008, p. 2052)

Hegger e Voss (2008) definem também que a área por metro do reforço é de 1,05 cm². Sabendo que a viga possui 2,20 metros de largura, a área da fibra resultou em 2,31 cm².

Com base nesses valores, obteve-se uma f_{ctu} no valor de 275,65 kN, como podemos ver na expressão a seguir.

$$f_{ctu} = 2,31 \times 180,8 \times 0,66 \times 1,0 \times 1,0 = 275,65 \text{ kN} \quad (44)$$

Com a definição do momento resistente à tração, considerando a especificação de Hegger e Voss (2008) para $k_{fl,p}$ de valor igual a 1 e o braço de alavanca calculado igual a 1,27 metros, encontrou-se um momento resistente à tração de 350,07 kNm.

$$M_u = 1,0 \times 275,65 \times 1,27 = 350,07 \text{ kNm} \quad (45)$$

Como as literaturas ainda não contemplam uma equação específica para a definição da área de reforço têxtil, será utilizado o momento solicitado com acréscimo do fator de segurança, junto aos outros valores já calculados.

Sabendo que as incertezas nas abordagens de cálculo são compensadas através do coeficiente de segurança proposto de 1,5 (HEGGER; WILL; SCHNEIDER, 2011), foi obtida uma área de 4,60 cm² de fibra de vidro álcali resistente.

Com a definição da área de fibra, bem como a informação da área do reforço para o vão de 2,31 cm², concluiu-se necessárias duas camadas de reforço têxtil para que o momento solicitante seja satisfeito.

4.2.2.2 Dimensionamento à Esforço Cortante

Para determinar a capacidade de cisalhamento da viga, é necessário definir os componentes referentes à treliça e ao concreto.

A contribuição referente à treliça limitou-se ao cisalhamento das bielas comprimidas, pois este foi o menor valor entre os dois obtidos. Logo, considerando para f_{cm} um valor de 3 kN/cm², b_w de 10 cm, d de 134 cm, f_{cm} de 180,8 kN/cm², z de 127 cm e uma área de seção do reforço de 2,31 cm², fora possível determinar $\rho_1 = 0,0034$ e $k = 2,22$.

Com estes valores e as informações já obtidas, o componente referente ao concreto e à treliça puderam ser determinados como, respectivamente, 465,32 kN e 451,74 kN, conforme observa-se nas equações 46 e 47.

$$V_{c,f} = 1,5 \times 0,1 \times 1,0 \times 2,22 \times (100 \times 0,0034 \times 3)^{1/3} \times 10 \times 134,5 = 450,85 \text{ kN} \quad (46)$$

$$V_F = 0,297 \times 3 \times 10 \times \frac{127}{(\cot 45 + \tan 45)} = 451,74 \text{ kN} \quad (47)$$

Para determinação da capacidade de cisalhamento da viga, V , considerou-se $k_f = 0,93$ resultando em uma capacidade de cisalhamento, V , igual a 884,48 kN. Sabendo que o esforço cortante solicitado é no valor de 147,2 kN, o material definido satisfaz o exigido. Ou seja, o reforço deve ser disposto ao longo do guarda corpo.

4.2.3 Dimensionamento no Estado-limite de Serviço

O dimensionamento para este estado-limite, tanto para determinação no estado-limite de formação de fissuras quanto para deformações, ainda necessitam modelos consolidados. Os resultados já existentes foram descobertos de modo experimental e são específicos, variando conforme o método construtivo e material. Com isso, será utilizado para o dimensionamento neste estado-limite as mesmas condições e equações do concreto armado.

4.2.3.1 Combinação das Ações

Assim como determinado para o concreto armado, para o têxtil a combinação das ações necessita a definição dos fatores de redução de combinação. Sendo

assim, será utilizada a mesma definição da ABNT NBR 8681 (2003) em que sugere para passarelas de pedestres os coeficientes nos valores de $\psi_1 = 0,4$ e $\psi_2 = 0,3$.

Logo, para definição das combinações das cargas quase permanentes e frequentes de serviço estão, respectivamente, representadas abaixo.

$$F_{d,ser} = G + \psi_1 \times Carga\ móvel = 5,301 + 0,3 \times 10,5 = 8,45\ kN/m \quad (48)$$

$$F_{d,ser} = G + \psi_2 \times Carga\ móvel = 5,301 + 0,4 \times 10,5 = 9,50\ kN/m \quad (49)$$

Onde:

$F_{d,ser}$: valor calculado das ações combinadas para serviço (kN/m);

G: peso próprio da estrutura, ou seja, carga permanente (kN/m);

Ψ_1 e Ψ_2 : coeficientes de redução.

Com a equação descrita no item 2.5.3.2, valores de inércia e centro de gravidade de, respectivamente, $1.833.125\ cm^4$ e $39,06\ cm$, os momentos de fissuração nos estados-limites de formação de fissura e de deformação foram determinados.

$$M_{rd} = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{y_t} = \frac{1,5 \times 0,2896 \times 1833125}{39,06} = 20386,83\ kNcm = 203,87\ kNm \quad (50)$$

$$M_{rf} = \frac{\alpha \times f_{ct} \times I_c}{y_t} = \frac{1,5 \times 0,2027 \times 1833125}{39,06} = 14269,37\ kNcm = 142,69\ kNm \quad (51)$$

Onde:

F_{ct} : Para o estado-limite de formação de fissuras deve ser usado o $f_{ctk,inf}$, no valor de $0,2027\ kN/cm^2$. E no estado-limite de deformação excessiva deverá ser definido por $f_{ct,m}$, no valor de $0,2896\ kN/cm^2$.

4.2.3.2 Estado Limite de Deformação

A verificação no estado-limite de deformação necessita inicialmente a determinação do módulo de elasticidade equivalente. Logo, admitindo que $E_{cs} = 26071,59\ MPa$, $I_c = 1833125\ cm^4$, $I_{II} = 1892758,10\ cm^4$, $M_{rf} = 20386,83\ kNcm$ e $M_a = 47850\ kN/cm$, resultou em um $(EI)_{eq}$ de $9332325278,0\ kN/cm^2$.

Sabendo que $F_{d,ser} = 9,50\ kN/m$ e $l = 13,40\ m$, fora possível determinar uma flecha imediata de $0,43\ cm$.

Para a determinação da flecha diferida, considerou-se $\Delta\xi = 2$, $\rho = 0,00034$ e consequentemente, $\alpha_f = 1,71$, resultando em uma flecha diferida de $0,74\ cm$.

Como a flecha limite é calculada através do vão, esta será no mesmo valor para o concreto armado de 5,36 cm. Com isso as flechas calculadas estão no limite de aceitação.

4.2.3.3 Estado-limite de Fissuração

Como o material é composto por fibras, não há possibilidade de realizar analogias ao dimensionamento neste estado-limite, pois, além de possuir características específicas que diferem entre si, as literaturas consolidam que a fibra aplicada no concreto ajuda com que o mesmo não desenvolva fissurações.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através da metodologia adotada.

5.1 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO

A análise do dimensionamento dos dois materiais já se destaca inicialmente na concepção da seção transversal, despertando interesse em uma comparação entre elas. Isto é decorrente do fato de que a seção transversal do CT ser menor que a adotada para o concreto armado, dada sua maior capacidade e menor necessidade de cobrimento.

As combinações das ações dos materiais propostos também são plausíveis de comparativos, pois estas seguem regulamentações de normas diferentes, ou seja, utilizam diferentes coeficientes de ponderação para suas respectivas cargas para determinado estado-limite.

As literaturas utilizadas para os dimensionamentos, à flexão e ao esforço cortante, do CT realizaram analogias ao dimensionamento do concreto armado, acompanhadas de pesquisas e estudos realizados pelos autores para a determinação das equações que resultam no quantitativo de reforço necessário. Logo, se observa que existem semelhanças quanto ao dimensionamento das mesmas para o estado-limite último. Porém, cada reforço possui sua particularidade e, conseqüentemente, uma metodologia com distintas condições para sua determinação e especificação.

Para o estado-limite de serviço pode-se realizar comparações apenas na determinação das flechas. As literaturas sobre o CT ainda não contemplam de forma clara e objetiva o dimensionamento do mesmo neste estado-limite, porém neste trabalho utilizou-se as mesmas especificações de dimensionamento do concreto armado para o CT.

Mesmo o dimensionamento de um dos materiais ter servido com base para analogias do outro, os resultados de esforços e momentos divergem entre si, como se observa na tabela 9. Isto ocorre pelo motivo de, no momento do dimensionamento, alguns coeficientes são diferentes para cada material devido seus

reforços, bem como a influência das características das tipologias das seções transversais.

Tabela 9 -Comparativo de esforço cortante, momento fletor e flechas

Material	Cargas Resistentes		Flechas	
	Esforço Cortante (kN)	Momento Fletor (kNm)	Flecha Imediata (cm)	Flecha Diferida (cm)
Concreto Armado	2.219,45	953,8	2,05	3,54
Concreto Têxtil	884,48	350,07	0,43	0,74

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Os valores obtidos para as solicitações internas resistentes e flechas, demonstrados na tabela 9, são consideravelmente distintas. Porém este fator é justificado pela distinção dos materiais, em relação à espessura, peso próprio e consumo. Destacando-se, por exemplo, por sua menor flecha podendo obter vãos maiores.

5.2 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DO CONSUMO E DO CUSTO DE MATERIAL

Uma larga diferença no dimensionamento de ambos os materiais está na espessura e peso próprio de ambos, conforme demonstrado na tabela 10. Apesar de possuírem pesos específicos similares, 25 kN/m³ para o concreto armado e 22,124 kN/m³ para CT, a pequena espessura, comparada ao concreto armado, do CT faz com que seu peso próprio seja menor que o peso próprio do concreto armado.

Uma das justificativas dessa menor espessura do CT é o fato de o reforço têxtil não necessitar um cobrimento mínimo de concreto para com o meio ambiente.

Tabela 10 – Comparativo entre peso próprio e espessura da passarela

Material	Espessura da Alma (cm)	Espessura da Mesa (cm)	Peso Próprio (kN/m)
Concreto Armado	15,0	20,0	21,75
Concreto Têxtil	5,0	5,0	5,30

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Os itens expostos na tabela 10 demonstram que o elemento em CT se torna mais leve por possuir uma espessura, de um terço a um quarto, menor que a espessura do concreto armado. Em consequência disto, o consumo de material para

o CT torna-se menor, pois haverá um menor consumo de concreto, por exemplo, conforme se observa na tabela 11.

Tabela 11 - Comparativo de quantitativo de materiais

Componentes	Material	
	Concreto Armado	Concreto Têxtil
Concreto (m ³)	11,31	3,12
Reforços Principais (cm ²)	26,46	4,60

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Analisando a tabela 11 pode-se concluir que o consumo de concreto de um material para o outro reduz, bem como a diferença no concreto, se observa também uma redução no quantitativo de reforços.

Com base nos valores da tabela 11 junto com o custo de cada material, foi possível analisar o custo aproximado dos mesmos.

Para a determinação do custo de concreto fora considerado, para o concreto armado, um concreto de 30 MPa com brita 1 no valor de R\$326,40/m³ de concreto. Para o CT fora considerado um concreto também de 30 MPa, porém com brita 0 no valor de R\$1.500,00/m³. Estes preços unitários são conforme estipulado pelo fornecedor da região de localização da passarela.

O valor do reforço de aço, também especificado por fornecedor da região, fora considerado de R\$4,81/kg. Uma barra de 25 mm, especificada no dimensionamento, de 12 m de comprimento possui 46,94 kg, sendo necessário aproximadamente 328,58 kg de aço para a execução da passarela.

Como o reforço têxtil não possui grande mercado nacional, fora escolhido para determinação do custo uma fibra mais simples que a utilizada no dimensionamento. De acordo com o fornecedor, a malha possui 1,20 m de comprimento sendo necessárias duas por camada, o valor unitário para a malha seria de R\$11,47/m.

Os valores obtidos estão representados na tabela 12.

Tabela 12 - Comparativo de custo de materiais

Material	Custo Aproximado (R\$)		
	Concreto	Reforços Principais	Total (R\$)
Concreto Armado	3.691,58	1.580,47	5.272,05
Concreto Têxtil	4.680,00	596,44	5.276,44

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Na tabela 12 pode-se observar que os custos dos materiais diferem consideravelmente. Este fato é devido à diferença de consumo de concreto entre os materiais, bem como a diferença nos reforços.

Os custos de transporte, mão-de-obra e entre outros custos diretos e indiretos, não foram considerados para este comparativo pelo fato de não haver, ainda, mão-de-obra nacional qualificada para a execução do CT.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto têxtil demonstra características que se destacam do concreto armado. A espessura de sua seção transversal em torno de 25 a 35% menor que a do concreto armado está entre elas como uma das principais. Isto decorre do fato de, além do reforço têxtil possuir uma seção transversal menor que o reforço em aço e maior capacidade portante, o mesmo não necessita de cobrimento para sua proteção contra a corrosão.

Como consequência dessa menor espessura, o concreto têxtil desencadeia um peso próprio para a estrutura um quarto menor quando comparado ao concreto armado. Por este motivo a metragem cúbica de concreto consumido para o elemento calculado é, aproximadamente, 30% menor. O custo da matriz cimentícia para o CT é aproximadamente 26% mais caro devido às suas propriedades e especificações necessárias para este tipo de concreto.

O reforço têxtil, comparado ao reforço de aço, possui uma área de seção menor, logo o quantitativo de reforço é menor. Para a passarela calculada, o reforço de têxtil é, aproximadamente, 82% menor que a de aço. A comparação de custos unitários dos reforços não se faz necessária, pois as unidades consideradas para os valores não são os mesmos. Então comparando apenas o valor final, o reforço têxtil é aproximadamente igual ao concreto armado.

Para os dimensionamentos foram utilizados modelos disponíveis pelas literaturas e, através destas, foi possível identificar que a base do dimensionamento do concreto têxtil é, em alguns casos, uma analogia realizada ao dimensionamento do concreto armado, junto a ensaios realizados pelos autores dessas literaturas. Sendo assim, há muita semelhança nos dimensionamentos. Porém, por possuírem reforços muito distintos, algumas considerações não possuem semelhanças.

As características do concreto têxtil, junto aos resultados obtidos ao longo do presente trabalho, demonstram que este material possa ser uma opção mais sustentável e econômica para locais onde este já é uma opção de solução estrutural. Por este motivo, e por possuir uma carência nas literaturas do material, o mesmo está em fase de pesquisas pelo mundo todo, podendo ocorrer ainda o aprimoramento de resultados e modificações dos modelos apresentados. Porém, estas pesquisas não são realizadas ainda no Brasil, onde o material ainda está em fase inicial no âmbito de pesquisas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M.. Natural and man-made fibres: physical and mechanical properties. In: FANGUEIRO, R. (Ed). **Fibrous and composite materials for civil engineering applications**. Philadelphia: Woodhead Publishing Limited, 2011. p. 3-28.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **ABNT NBR 7187**: projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **ABNT NBR 7188**: carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas - procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **ABNT NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. 2. ed. Bosa Roca: CRC Press Inc, 2006.

BRAMESHUBER, W. et al. Concrete/matrix. In:RILEM. **State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC**: textile reinforced concrete. [S.I.]: RILEM, 2006. p. 29-56.

BRAMESHUBER, W.; BROCKMANN, T. Introduction. In:RILEM. **State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC**: textile reinforced concrete. [S.I.]: RILEM, 2006. p. 1-3.

BRAMESHUBER, W.; BROCKMANN, T. Textile reinforced concrete (TRC) - durability aspects of fine grained binder systems. **American Concrete Institute (ACI)**, v.212, p.93-112, 6 jan. 2003.

BROCKMANN, J.; RAUPACH, M. Durability investigations on textile reinforced concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF MATERIALS AND COMPONENTS, 9., 2002, Roterdã. Disponível em <<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB9229.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

BROCKMANN, T. **Mechanical and fracture mechanical properties of fine grained concrete for textile reinforced composites**, 2006. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica Renânia do Norte-Vestfália, Aachen. Disponível em: <https://portal.dnb.de/opac.htm;jsessionid=ERmcTma53XaRHpIVmE_VSqICT_ofc-fQuSYMtd9k.prod-fly1?view=redirect%3A%2Fopac.htm&dodServiceUrl=https%3A%2F%2Fportal.dnb.de%2Fdod>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CACHOEIRINHA. In: GOOGLE MAPS. Mountain View: Google, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/RS-118,+Rio+Grande+do+Sul/@-29.8806609,-51.0854793,640m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x951975f08bdd5f3b:0xd1a886bba9be2422!8m2!3d-29.925725!4d-51.0240167>>. Acesso em: 07 out. 2018.

CHUDOBA, R.; SCHOLZEN, A.. Textile-reinforced concrete: structural behavior. In: TRIANTAFILLOU, T. (Ed). **Textile fibre composites in civil engineering**. Duxford: Elsevier, 2016. p. 209-226. Disponível em <<https://www.elsevier.com/books/textile-fibre-composites-in-civil-engineering/triantafillou/978-1-78242-446-8>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Instrução de Serviço Ferroviário (ISF) 219**: projeto de passarela para pedestres. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/instrucoes-de-servicos-ferroviarios/isf-219-projeto-de-passarela-para-pedestres.pdf/view>>. Acesso em: 30 set. 2018.

FANGUEIRO, R; SOUTINHO, F.. Textile structures. In: FANGUEIRO, R. (Ed). **Fibrous and composite materials for civil engineering applications**. Philadelphia: Woodhead Publishing Limited, 2011. p. 62-91.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Livre Docente) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/pt-br.php>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2008.

GRIES, T. et al. Manufacturing of textile for civil engineering applications. In: TRIANTAFILLOU, T. (Ed). **Textile fibre composites in civil engineering**. Duxford: Elsevier, 2016. p. 3-24. Disponível em <<https://www.elsevier.com/books/textile-fibre-composites-in-civil-engineering/triantafillou/978-1-78242-446-8>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

GRIES, T. et al. Textile. In: RILEM. **State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC**: Textile Reinforced Concrete.[S.I.]: RILEM, 2006. p. 1-3.

HÄUSSLER-COMBE, U.; JESSE, F.; CURBACH, M. **Textile reinforced concrete – overview, experimental and theoretical investigation**. Alemanha: IA-FraMCoS – International Association of Fracture Mechanics for Concrete and Concrete Structures, 2004. Disponível em: < <http://framcos.org/FraMCoS-5/haeussler.textile.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

HEGGER, J et al. Applications of textile reinforced concrete. In: RILEM. **State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC**: textile reinforced concrete. [S.I.]: RILEM, 2006a. p. 237-270.

_____. Mechanical behaviour of textile reinforced concrete. In: RILEM. **State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC**: textile reinforced concrete. [S.I.]: RILEM, 2006b. p. 133-183.

_____. TRC pedestrian bridge - desing, load-bearing behavior and production process of a slender and light weight constrution. In: BRAMESHUBER, W (Ed.). **International RILEM conference on material Science - 2nd ICTRC - Textile Reinforced Concrete - Theme 1**. [S.I.]: RILEM, 2010. p. 353-364.

HEGGER, J.; SCHNEIDER, M.; KULAS, C.. Dimensioning of TRC with application to ventilated façade systems. In: BRAMESHUBER, W (Ed.). **International RILEM conference on material science - 2nd ICTRC – textile reinforced concrete**. [S.I.]: RILEM, 2006. p. 393-403.

HEGGER, J.; SHERIF, A.; GÖRTZ, S. Shear capacity of Beams Made of high-performance concrete. **American Concrete Institute (ACI)**, v. 228, p. 723-740, 6 jan. 2005.

HEGGER, J.; VOSS, S. Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete. **Engineering Structures**, v. 30, p. 2050-2056, 2008.

HEGGER, J.; WILL, N.; SCHNEIDER, M. Textilbeton: Tragverhalten – Bemessung – Sicherheit. In: Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS6), 6., 2011, [S.I.] p. 269-284. Disponível em: <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/7796/20_Schneider_web.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2018.

HEGGER, J.; ZELL, M; HORSTMANN, M. Textile reinforced concrete – realization in applications. WALRAVEN, J. C.; STOELHORDT, D. (Eds.) **Symposium of Tailor made concrete structures**. Londres: Taylor & Francis Group, 2008. p. 357-362. Disponível em: <<http://www.abece.com.br/web/restrito/restrito/Pdf/CH051.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2018.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini, 1986.

INAGUMA, H. et al. Experimental study on crack-bridging ability of ECC for repair under train loading. In: FISCHER, G.; LI, V. C. (Eds.). **Internacional RILEM workshop on high performance fiber reinforced cementitious composites in structural applications**. Honolulu: RILEM, 2006. p. 499-508. Acesso em <https://www.rilem.net/publication/publication/54?id_papier=3883>. Acesso em: 28 jun. 2018.

ISAIA, G. C. A evolução do concreto estrutural. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 1-55.

_____. Concreto: da era clássica à contemporânea. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: estudo, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1-43.

KOCH, A.; KERSCHL, C.; GRIES, T.; BRAMESHUBER, W. Locally adapted biaxial warp knitted textiles as reinforced of folded concrete elements. In: BRAMESHUBER, W (Ed). **11 th International Symposium on Ferrocement and Textile Reinforced Concrete 3rd ICTRC**. [S.I.]: RILEM, 2015. p. 419-426.

KRÜGER, M.; REINHARDT, H.-W.; FICHTLSCHERER, M. Bond behaviour of textile reinforcement in reinforced and prestressed concrete. In: **Otto-Graf-Journal**, vol. 12, 2001. p. 33-50.

KULAS, C. H. **Actual applications and potencial of textile-reinforced concrete**. GRC, 2015. Disponível em: <<https://grca.org.uk/pdf/congress-2015/02%20Actual%20applications%20and%20potential%20of%20textile-reinforced%20concrete.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

_____. **Zum tragverhalten getränkter textiler bewehrungselemente für beton bauteile**, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica da Renânia do Norte-Vestfália, Aachen. Disponível em: <<http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2014/4943/pdf/4943.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2009.

MECHTCHERINE, V.. Durability of structure made of or strengthened using textile-reinforced concrete. In: TRIANTAFILLOU, T. (Ed). **Textile fibre composites in civil engineering**. Duxford: Elsevier, 2016. p. 151-168. Disponível em <<https://www.elsevier.com/books/textile-fibre-composites-in-civil-engineering/triantafillou/978-1-78242-446-8>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

MECHTCHERINE, V.; SCHNEIDER, K.; BRAMESHUBER, Wolfgang. Mineral-based matrices for textile-reinforced concrete. In: TRIANTAFILLOU, T. (Ed). **Textile fibre composites in civil engineering**. Duxford: Elsevier, 2016. p. 25-44. Disponível em <<https://www.elsevier.com/books/textile-fibre-composites-in-civil-engineering/triantafillou/978-1-78242-446-8>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

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

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, Á. G.; CABRÉ, F. M. **Hormigón armado**. 14. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

NAAMAN, A. E. Textile reinforced cement composites: competitive status and research directions. In: BRAMESHUBER, W. (Ed.). **International RILEM conference on material Science - 2nd ICTRC - Textile reinforced concrete - Theme 1**. [S.l.]: RILEM, 2010. p. 3-22.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, ano XXXVII, n. 53, p. 14-19, jan/fev/mar. 2009. Disponível em <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf>. Acesso em: 05 maio 2018.

PELED, A.; MOBASHER, B.; BENTUR, A. **Textile reinforced concrete**. Bosa Roca: CRC Press Inc, 2017.

PORTAL, N. W. **Usability of textile reinforced concrete**: structural performance, durability and sustainability. 2015. 129 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Divisão de Engenharia Estrutural,

Chalmers University of Technology, Gothenbur. Disponível em <<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/220895/220895.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

PURNELL, P. et al. Durability. In: RILEM. **State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: textile reinforced concrete**. [S.l.]: RILEM, 2006. p. 187-211.

RODRIGUES, Rodrigo Stieler. **Projeto ERS-118** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rodrigors@daer.rs.gov.br> em 27 set 2018.

SCHEERER, S.; SCHLADITZ, F.; CURBACH, M. **Textile reinforced concrete - from the idea to a high performance material**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 15-34. Disponível em: <<http://demo.webdefy.com/rilem-new/wp-content/uploads/2016/10/fc672e80755a369eb45a821a26314923.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

VOSS, S. **Ingenieurmodelle zum tragverhalten von textilbewehrtem beton**. Aachen: Universidade Técnica da Renânia do Norte-Vestfália, 2008. Disponível em: <http://publications.rwth-aachen.de/record/50110/files/Voss_Stefan.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2018.

VOSS, S.; HEGGER, J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. In: HEGGER, J.; BRAMESHUBER, W.; WILL, N. (Eds.). **First international RILEM symposium on textile reinforced concrete**. [S.l.]: RILEM, 2006. p. 151-160.