



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Luiz Rodrigo Alves de Lira Barbosa

CONCRETO TÊXTIL: Estudo comparativo entre o reforço de aço e a malha de fibra de carbono em elementos estruturais

Palmas – TO

2019

Luiz Rodrigo Alves de Lira Barbosa

CONCRETO TÊXTIL: Estudo comparativo entre o reforço de aço e a malha de fibra de carbono em elementos estruturais

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) I do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Fernando Moreno Júnior.

Palmas – TO

2019

Luiz Rodrigo Alves de Lira Barbosa

CONCRETO TÊXTIL: Estudo comparativo entre o reforço de aço e a malha de fibra de carbono em elementos estruturais

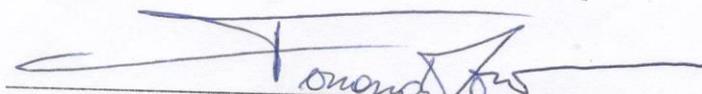
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Fernando Moreno Júnior.

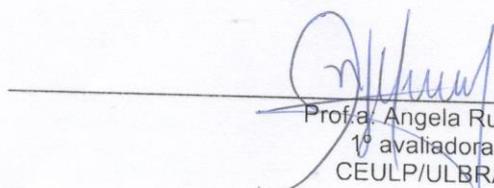
Co-orientador:

Aprovado em: 31/05/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. M.e Fernando Moreno Júnior
Orientador
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Profa. Angela Ruriko
1ª avaliadora
CEULP/ULBRA



Prof.: Roldão Rimentel Júnior
2º Avaliador
CEULP/ULBRA

Palmas – TO
2019

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas me toda minha vida, a virgem maria por ter guiados os meus passos e me mantido no caminho certo. Ao meu pai Carlos Alberto de Lira, que apesar de todas as dificuldades me deu apoio, me incentivou nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. me fortaleceu e conseguiu me dar apoio para que continuasse minha jornada.

Agradeço a minha mãe Roselma Alves de Lira, que me fortaleceu e conseguiu me dar apoio para que continuasse minha jornada. Sou muito grato a minha esposa, que me ajudou nos trabalhos e na composição do TCC, me orientou e me deu forças para seguir em frente, pois sem ela, não vislumbraria um futuro.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo a minha última e mais elevada descoberta. (NEWTON, 1721)

RESUMO

O concreto têxtil ou TRC (*textile reinforced concrete*), regido pela norma alemã DIN (Deutsche Industrie Norm) Z-31.10-182, material originado e normatizado na Alemanha, une a alta resistência a compressão da matriz cimentícia com a alta tenacidade da malha têxtil, que pode ser constituída de fibra de vidro álcali-resistente, aramida ou fibra de carbono. Neste caso, no Brasil, tal matriz seria chamada de argamassa de alta resistência, uma vez que, diferente do concreto convencional, a granulometria máxima de seu agregado seria de 4,8 mm. O têxtil, por não ser corrosível, foi desenvolvido com o intuito de substituir o uso do aço, aumentando significativamente a durabilidade da estrutura e diminuindo o consumo de insumos. As literaturas brasileiras que abordam este compósito ainda estão em fase embrionária, logo, toda bibliografia sobre esse elemento se encontra em língua estrangeira. Este trabalho faz a comparação entre o concreto armado e o concreto têxtil, analisando seus comportamentos mecânicos, resistência para estado limite último e a comparação de custos desses dois elementos estruturais. Foram confeccionados corpos de ambos os compósitos em laboratório e posteriormente rompidos em prensa hidráulica de dois pontos. O comparativo de custo de ambos fora realizado com base no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) com exceção do material importado. O corpo de prova prismático confeccionado com malha de fibra de carbono com abertura de 25 mm utilizado, se mostrou menos resistente a tração na flexão que o concreto armado, porém, com resistência suficiente para suportar a solitação gerada no pavimento de referência, obtendo-se uma considerável redução do consumo da matriz de 16,52%. Ao isolarmos e analisarmos o custo de ambos os compósitos, o concreto armado se mostra mais viável, contudo, do ponto de vista do custo benefício, a durabilidade de uma estrutura em concreto têxtil, poderia, segundo Hegger (2010), chegar a 200 anos, antagonizando a estrutura de concreto armado, com uma vida útil de projeto de 50 anos, Fato que pode embasar-se em que as patologias geradas no concreto armado não agredem o concreto têxtil.

Palavras-chave: Concreto têxtil; TRC; DIN Z-31.10-182; Argamassa têxtil; Tenacidade.

ABSTRACT

Textile reinforced concrete (TRC), governed by the German standard DIN (Deutsche Industrie Norm) Z-31.10-182, material originated and standardized in Germany, combines the high compressive strength of the cementitious matrix with the high tenacity of the textile mesh, which may be comprised of alkali-resistant glass fiber, aramid or carbon fiber. In this case, in Brazil, such a matrix would be called high strength mortar, since, unlike conventional concrete, the maximum granulometry of its aggregate would be 4.8 mm. The textile, because it is not corrosive, was developed with the purpose of replacing the use of steel, significantly increasing the durability of the structure and reducing the consumption of inputs. The Brazilian literatures that approach this composite are still in the embryonic stage, so all bibliography about this element is in a foreign language. This work compares reinforced concrete and textile concrete by analyzing their mechanical behavior, resistance to ultimate limit state, and cost comparison of these two structural elements. Bodies of both composites were made in the laboratory and then ruptured in a two-point hydraulic press. The cost comparison of both was carried out based on the SINAPI (National System of Survey of Costs and Indices of the Civil Construction) with the exception of the imported material. The prismatic test specimen made with a 25 mm aperture carbon fiber mesh showed to be less resistant to flexural traction than reinforced concrete, but with sufficient strength to withstand the stress generated on the reference floor. a considerable reduction of the matrix consumption of 16.52%. By isolating and analyzing the cost of both composites, reinforced concrete is more feasible, however, from the point of view of cost-effectiveness, the durability of a concrete structure could, according to Hegger (2010), reach 200 years, antagonizing the structure of reinforced concrete, with a project life of 50 years, a fact that can be based on that the pathologies generated in the reinforced concrete do not attack the textile concrete.

Keywords: Textile concrete; TRC; DIN Z-31.10-182; Textile mortar; Tenacy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conjunto de peneiras sucessivas de série normal e intermediária...	23
Figura 2 - Reforços utilizados no concreto: (a) concreto armado, (b) concreto reforçado com fibras curtas e (c) concreto com reforço têxtil.....	29
Figura 3 - Modelos de tecidos.....	33
Figura 4 - Comparação dos momentos fletores.....	35
Figura 5 - Tanque para tratamento de efluentes.....	37
Figura 6 - Passarela na cidade de Kempten, Alemanha em concreto têxtil.....	37
Figura 7 - Ponte em concreto têxtil na cidade de Albstadt, Alemanha.....	38
Figura 8 - Fluxograma de metodologia de pesquisa.....	41
Figura 9 - Projeto estrutural referência.....	43
Figura 10 - Corpo de prova prismático para concreto.....	47
Figura 11 - Corpo de prova prismático para argamassa.....	47
Figura 12 - Confecção do CP de concreto têxtil.....	51
Figura 13 - Armação do CP de concreto armado.....	51
Figura 14 - Ensaio de flexão em CP de concreto armado.....	53
Figura 15 - Fissura em CP de concreto armado.....	54
Figura 16 - Ensaio de flexão em CP de concreto têxtil.....	56
Figura 17 - Fissura em CP de concreto têxtil.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Progressão da resistência a compressão axial do concreto....	52
Gráfico 2 -	Progressão da resistência a compressão axial da argamassa..	55
Gráfico 3 -	Analogia da resistência a compressão axial.....	60
Gráfico 4 -	Comparativo de resistência a tração na flexão.....	61
Gráfico 5 -	Comparativo de custos.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-	Formulário utilizado para redimensionamento da laje.....	44
Quadro 2 -	Formulário <i>utilizado para realização dos cálculo finais</i>	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Característica do projeto.....	44
Tabela 2 -	Seção de aço junto à parte inferior da laje.....	45
Tabela 3 -	Seção de aço junto à parte superior da laje.....	46
Tabela 4 -	Caracterização dos corpos de prova.....	47
Tabela 5 -	Caracterização física dos insumos.....	50
Tabela 6 -	Traço de dosagem das matrizes cimentícias.....	51
Tabela 7 -	Resistência a tração na flexão do CP de concreto armado.....	53
Tabela 8 -	Resistência a tração na flexão do CP de concreto têxtil.....	57
Tabela 9 -	Planilha orçamentária de 1 m ³ de concreto armado SINAPI.....	59
Tabela 10	Planilha orçamentária de 1 m ³ de concreto armado para laje referência.....	58
Tabela 11	Planilha orçamentária de 1 m ³ de concreto têxtil para laje referência	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas Classe de
C.A.A	Agressividade Ambiental
CAA	Concreto auto-adensável
CA	Concreto Armado
CC	Concreto Convencional
CP	Corpo de prova
CPI	Cimento Portland comum
CPV	Cimento Portland, classe cinco
CPV-ARI	Cimento Portland, classe cinco, de alta resistência inicial
CPB	Cimento Portland Branco
CPV-RS	Cimento Portland, classe cinco, resistente a sulfatos
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CT	Concreto Têxtil
E	Adição de escória
EB	Especificação Brasileira
F	Adição de filler
LEME	Laboratório de Ensaios e Modelos
NBR	Norma Brasileira
SINAPI	Sistema nacional de preços e índices para a construção civil
STFI	Instituto de Pesquisa Têxtil Saxon
TRC	Textile Reinforced Concrete
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SIMBOLOS

cm	centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
m	Metros
m ²	Metros quadrados
2D	2 Dimensões
3D	3 Dimensões
>	Maior que
≥	Maior ou igual a
<	Menor que
≤	Menor ou igual a
g/km	Gramas por quilômetro
tex	(g/Km) Gramas por quilômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 Justificativa.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 CONCRETO	20
2.2 CONCRETO ARMADO.....	20
2.2.1 Cimento	201
2.2.2 Agregados.....	22
2.2.3 Aditivos	23
2.2.4 Propriedades físicas e mecânicas	24
2.2.5 Propriedades do concreto no estado fresco	25
2.2.6 Propriedades do concreto no estado endurecido	26
2.3 CONCRETO TÊXTIL	27
2.3.1 Matriz	30
2.3.2 Formação da matriz.....	301
2.3.3 Reforço têxtil.....	312
2.3.3.1 Modelos de reforço têxtil	33
2.3.4 Propriedades mecânicas	334
2.3.5 Parâmetros de dimensionamento	334
2.3.6 Análise de custo	356

2.3.7 Aplicações do concreto têxtil.....	367
3 METODOLOGIA.....	40
3.1. DESENHO DO ESTUDO.....	40
3.2 DETALHAMENTO DOS PROCEDIMENTOS.....	41
3.2.1 Fluxograma	401
3.2.2 Modelagem do problema	41
3.2.3 Propriedades físicas dos insumos.....	456
3.2.4 Protótipos.....	45
3.2.5 Coleta de dados	467
3.2.6 Tabulação e comparativo dos dados.....	478
3.3 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	48
3.4 OBJETO DE ESTUDO	48
3.5 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	49
4 RESULTADOS.....	50
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS INSUMOS E MOLDAGEM DOS CPs.....	50
4.2 TRAÇO DA MATRIZ	51
4.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO COMPÓSITO	52
4.3.1 Concreto convencional	52
4.3.2 Concreto têxtil.....	54
4.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS.....	57
5 CONCLUSÃO.....	60
5.1 SUPOSIÇÃO DE PESQUISAS FUTURAS.....	61
REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável tem um significado mundial como um princípio orientador para o futuro. A indústria de obras civis ocupa uma posição especial porque satisfaz as necessidades essenciais do ser humano, como as necessidades de moradia e infraestrutura básica, e ao mesmo tempo envolve grandes despesas econômicas e ambientais.

Segundo Lauxen e Filho (2017), o concreto é o insumo da construção mais consumido no planeta. Estima-se que cerca de 11 bilhões de toneladas são produzidas anualmente. É o principal componente de praticamente tudo que construímos. Suas principais vantagens são o baixo custo, fácil produção, e sua alta capacidade de carga axial, isto é, o concreto resiste muito bem à compressão, mas, sua resistência à tração é baixíssima, e todas essas aplicações só são possíveis, devido à adição de uma armadura de aço em seu interior, passando a ser conhecido como concreto armado.

Além de suas características vantajosas, como produção simples, alta resistência, custo relativamente baixo e maleabilidade, é nítido algumas desvantagens: a contribuição feita pelo aço pode acabar resultante da corrosão. A base do concreto é bastante alcalina e protege o aço contra agentes agressivos. Contudo, agentes externos penetram no concreto através de seus poros baixando a alcalinidade do mesmo, com isso, dado um certo tempo, causa a despassivação da armadura. Logo, o aço contido no concreto começa a se corroer, perdendo sua característica principal, a resistência a tração, resultando numa vida útil máxima de 50 anos. Em alguns casos, essa corrosão se expande acarretando na separação do concreto do aço, resultando na diminuição da durabilidade e conseqüentemente a falhas na estrutura (KULAS; GMBH, 2015).

O desejo constante de construir estruturas sustentáveis na engenharia com custos de material cada vez mais baixos e com tecnologia de ponta, chamou a atenção para os compostos que combinam as propriedades positivas de diversos materiais em um único material, capaz de unir as características principais como a tenacidade à compressão do concreto e a resistência à tração do aço.

A tendência atual da arquitetura de ir em direção a estruturas de suporte que estavam em escassez com elementos de qualidade, estão causando um aumento constante nas demandas de materiais de construção e requerem desenvolvimento

contínuo e melhoria de suas propriedades. Em vez do reforço de aço, materiais de alta tenacidade, não metálicos, estão sendo gradativamente utilizados, o que permite que materiais recém-criados atinjam novos campos de uso. O concreto com reforço têxtil normatizado na Alemanha no ano de 2016 sob o número DIN (Deutsche Industrie Norm) Z-31,10-182, é o novo compósito constituído principalmente de fibras de carbono, fibra de vidro e aramida, que combina a vantagem de corrosão, durabilidade e resistência, o tornando assim, eficaz e económico. (TUDALIT, 2016)

Neste contexto, esta pesquisa busca uma melhor concepção do comportamento e dimensionamento deste recente compósito, criando-se protótipos afim de avaliar características mecânicas desse material. Para isto, buscou-se comparar as melhorias que se obtivera com a substituição do concreto armado pelo concreto têxtil, através dos métodos já reconhecidos e normatizados presentes na literatura disponível. Desta maneira, é possível fazer uma investigação específica que leve em consideração as vantagens e desvantagens da utilização desse compósito na construção civil e para aplicação do mesmo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as características mecânicas e econômicas obtidas com a substituição do concreto armado pelo concreto têxtil em elementos estruturais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Criar protótipos afim de avaliar as tensões de compressão nas peças;
- Criar protótipos afim de avaliar as tensões de tração nas peças;
- Comparar o concreto têxtil com o armado em lajes maciças;
- Contrastar parâmetros financeiros entre os dois compósitos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O concreto é um dos insumos de construção mais comuns no mundo, cuja produção caracteriza o nível de desenvolvimento da civilização em certa medida. No mesmo tempo, é um material compósito extremamente complexo que, devido à sua estrutura de múltiplos componentes, possui uma ampla gama de propriedades únicas.

A evolução da pesquisa no âmbito do concreto têxtil se faz necessária devido a pontos negativos encontrados no concreto armado (CA) convencional que por mais se sejam adicionados componentes afim de melhorar suas características, acabam por ocasionar problemas tanto a curto quanto a longo prazo. (YAZIGI, 1997).

Quando analisado a armadura do CA a curto prazo, destaca-se a corrosão do aço variando sua velocidade a depender da agressividade ambiental. Quando analisado a longo prazo, ressalta-se a durabilidade dessa armadura, pois com a ação dos agentes agressivos, acarretam uma gama de problemas patológicos. Sendo assim, no contexto social, a pesquisa traz benefícios a fim de mitigar esses problemas encontrados ao utilizar o aço no concreto armado. (BOTELHO; MARCHETTI, 2004).

Na esfera acadêmica a presente pesquisa tem como um de seus escopos, servir como base de consulta literária para pesquisas futuras que utilizem o concreto têxtil ou a malha de fibra de carbono como alicerce, pois a mesma, tem como base, artigos internacionais, teses, revisão de literaturas sobre o concreto com reforço têxtil, suas principais propriedades e aplicações.

Um dos motivos da realização da pesquisa se dá pelo fato da carência de trabalhos que abordam o uso do concreto com reforço têxtil no Brasil, existindo apenas alguns produzidos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) graças ao laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME), por ipso-facto, o pesquisador se põe à disposição para realização dessa pesquisa a fim de analisar as melhorias obtidas com a substituição do aço pela malha de fibra de carbono no concreto armado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

Segundo a ABCP (2002), hoje o cimento portland é a denominação convencional para o material mais usado no mundo na construção civil, consiste em um pó de granulometria de 75 μm , com propriedades aglomerantes que endurecem sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo sendo submetido à ação da água novamente, o cimento não volta ao seu estado fresco.

O Cobrimento (nome dado a camada de concreto que protege a armadura) segundo a ABNT NBR 6118/2014, varia de 20 milímetros a 50 milímetros dependendo da classe de agressividade ambiental (C.A.A) em que se encontra a peça, o que impossibilita a esbeltes da mesma, por outro lado, se o aço for substituído por um material de maior ductilidade e resistência a agressividade, será possível uma peça mais esbelta.

Ainda segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), ao combinarmos o cimento com água e outros agregados, resulta em argamassa quando misturado somente com agregado miúdo (areia) ou concreto quando misturado com agregado miúdo e agregado graúdo (pedra britada). Suas características e propriedades desses vão depender da qualidade e proporções dos materiais com que são compostos, podendo ser alteradas com os chamados aditivos; portanto, é de fundamental importância utilizá-lo corretamente. Para isto, é preciso conhecer bem suas características e propriedades, para poder aproveitá-las da melhor forma possível na aplicação que se tem em vista.

2.2 CONCRETO ARMADO

Fusco (2008) relata que na mistura de cimento, agregado miúdo, graúdo e água resulta no concreto simples, sendo caracterizado por sua razoável resistência à compressão, que pode chegar aos 50 Mpa e 60 Mpa se utilizar aço CA-60, e sua resistência à tração, usualmente menor que 1/10 da sua resistência na compressão; entretanto, no concreto armado, a baixa resistência à tração do concreto simples é compensada pelo aço com resistência de escoamento de até 600 MPa, suas armaduras são solicitadas em consequência das deformações do concreto da própria estrutura. Sendo assim, quando o concreto endurece, suas armaduras passam a

trabalhar solidariamente, isto é, não existe escorregamento relativo entre os dois materiais.

O crescimento como um todo na construção civil, principalmente em obras de infraestrutura e habitações sociais, foram os grandes responsáveis pelo aumento da demanda do setor de concreto. Nas obras de edificações, a tendência da utilização de um novo sistema construtivo de paredes de concreto alargou significativamente a participação no mercado envolvendo as concreteiras, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) demonstrou grandes avanços nas obras de infraestrutura justificadas por um crescimento expressivo representado pelo aumento da utilização dos sistemas construtivos à base de cimento, que vêm ganhando a preferência das construtoras. Outras explicações para o crescimento neste cenário abrangem a necessidade de apresentar inovações no setor produtivo, adequação das construções e empreendimentos às novas restrições ambientais, logística e adoção do novo padrão de especificação do concreto estipulado pela ABCP. Segundo a empresa E8 inteligência, devido esse cenário a demanda por concreto via concreteiras cresceu 136% entre 2006 e 2011, sendo a demanda por habitações que utilizam sistemas construtivos à base de cimento e concreto, o grande responsável pelo crescimento nos últimos anos. Valter Frigieri, diretor de mercado da ABCP, observa a preferência das construtoras por não dosarem o concreto na obra devido a espaço, custo e tempo, sendo mais viável a encomenda de concreto e peças pré-moldadas em concreteiras (CASTRO, 2013).

2.2.1 Cimento

O Cimento Portland, aglomerante hidráulico derivado do processo de moagem do clínquer e argila, ao qual são adicionados Sulfato de cálcio e gesso a fim de retardar o processo de pega. Os sacos de cimento, possuem, além de letras e algarismos romanos que representam o tipo do cimento, devem apresentar um número em algarismo arábico: 25, 32 ou 40, que indicam a resistência mínima à compressão aos 28 dias de idade, ou seja, 25 MPa, 32 MPa ou 40 Mpa, com exceção dos cimentos de ditos como especiais, onde são adicionados aditivos minerais ou artificiais para modificar suas características e resultados (JUNIOR, 2016).

As normas brasileiras apresentam nove tipos de cimento, através de seis normas, sendo elas: NBR 5732/91, 11578/91, 5735/91, 5736/91, 5733/91, 5737/92 e

13116/94, que abordam desde o cimento CPI (Cimento Portland comum, sem adições), passando pelas categorias E (adição de escória), F (adição de filler), Z (adição de pozolana) e os cimentos especiais como: CPV-ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial, apresentando aos 7 dias uma resistência de 34 Mpa), CPV-RS (resistente a sulfatos), CPV-BC (baixo calor de hidratação) e CPB (Cimento Portland brando). Nas estruturas e construções comuns, geralmente usa-se o CPE-E-32 (Cimento Portland composto com escória, classe 32 (JUNIOR, 2016)).

Consoante com Fusco (2008), os agregados utilizados no concreto são divididos em grãos e miúdos, de acordo a sua composição granulométrica; seguindo a Especificação Brasileira (EB), o agregado miúdo é a areia natural quartzosa quando extraída, ou a artificial quando resultante do britamento de rochas possuindo diâmetro máximo $\leq 4,8$ mm; pela mesma especificação, o agregado grão seria o pedregulho natural, ou pedra britada proveniente do britamento de rochas, com diâmetro $> 4,8$ mm. Para se obter a granulometria do agregado miúdo, faz-se o ensaio de peneiramento. Consistindo em depositar 500 g de material em 7 peneiras de malha quadrada, onde cada peneira reterá o material de sua respectiva abertura. O ensaio é realizado afim de construir o gráfico de zona ótima e zona utilizável, ambas com a função de definir se o agregado é ou não viável para o uso, além de cálculos de módulo de finura e diâmetro máximo.

Com o Avanço no estudo do concreto, observou-se a possibilidade da criação de um novo compósito, melhor que o concreto convencional, onde o mesmo, dispensaria a necessidade de vibração e diminuiria problemas como nicho de concretagem. O concreto auto-adensável (CAA) parte da série de concretos como o concreto de auto desempenho e concreto de alta resistência inicial; Para se desenvolver o concreto auto-adensável é necessário três características simultâneas: fluidez (propriedade que possibilita a capacidade de preencher todos os espaços da fôrma), coesão necessária para que a mistura escoe de forma intacta entre barras de aço e resistência à segregação (capacidade de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas, passando ou não pelas barras (EFNARC, 2002)).

2.2.2 Agregados

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), o agregado utilizado no concreto deve ser composto por grãos de minerais duros, compactos, limpos, não interferindo no endurecimento e hidratação do cimento, podendo ser adquirido de forma mineral no leito de rios ou de forma artificial, resultante do britamento de rochas. Suas características relevantes para a composição do concreto incluem: porosidade, distribuição granulométrica, absorção de água, fôrma, resistência mecânica e tipo de substâncias presentes.

Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2013) que rege o ensaio para determinação granulométrica dos agregados, os componentes podem ser divididos entre agregados miúdos e agregados graúdos. A seleção é realizada através da série normal de peneiras que variam de 0,05 mm a 4,75 mm usualmente chamada de 4,8 mm, para agregado miúdo e de 4,8 a 75 mm para agregado graúdo.

Figura 1 - Conjunto de peneiras sucessivas de série normal e intermediária.

<i>Serie Normal / Série Normal</i>	<i>Serie Intermedia / Série Intermediária</i>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: adaptado de NBR NM 248. 2013

Tutikian e Molin (2008) relatam que o agregado miúdo se origina de areia natural, resultante de britagem de rochas estáveis ou a misturas de ambas, com partículas que passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm. Sua seleção está condicionada à demanda de água, fator essencial para a coesão e fluidez do concreto. Agregados miúdos com partículas arredondadas e

lisas de granulometria variada são preferíveis para produção de concreto porque aumentam fluidez da mistura para uma mesma quantidade de água. Segundo Okamura e Ouchi (2003), quanto mais angulosas forem as partículas do agregado miúdo, maior será a resistência ao cisalhamento das argamassas, dificultando a deformabilidade do concreto.

O agregado graúdo é proveniente do britamento de rochas estáveis, com grãos que ficam retidos na peneira de malha quadrada com abertura nominal de 75 mm e ficam retidos na peneira de 4,8 mm. Para garantir a passagem do concreto por todos os obstáculos durante o lançamento e reduzir a tendência à segregação, as exigências quanto à dimensão máxima característica do agregado graúdo são mais restritivas. Gomes e Maestro (2005) recomendam que a dimensão máxima característica do agregado graúdo seja inferior a $2/3$ do espaçamento entre barras ou grupos de barras e a $3/4$ do cobrimento mínimo de concreto às armaduras.

Na composição do concreto, a aderência agregado-pasta de cimento exerce um papel importante para a interação entre os dois componentes, assim, a forma e textura superficial do agregado são fatores relevantes no comportamento mecânico. Embora agregados angulares com superfícies ásperas apresentem melhor aderência com a pasta de cimento que agregados lisos e arredondados, podem surgir efeitos opostos no aumento do consumo de água e redução da trabalhabilidade se a angulosidade for muito acentuada (TUTIKIAN; MOLIN 2008).

2.2.3 Aditivos

Cada adição é única em suas particularidades, devendo sua seleção ser feita com base nas exigências do projeto construtivo, disponibilidade e custos. Conforme afirmam Malhotra e Mehta (1996), em princípio nenhum concreto deveria ser confeccionado e lançado sem a incorporação de adições minerais. Sabe-se que a incorporação de adições minerais em geral resulta na produção de materiais cimentícios com melhores características técnicas, uma vez que modificam a estrutura interna do concreto no estado fresco. Essas adições trazem diversos benefícios que aumentam a durabilidade e resistência do concreto no estado endurecido, como: redução na porosidade capilar, diminuição das fissuras de origem térmica, melhoria na resistência a ataque por sulfatos, melhoria na resistência a reação álcali-sílica, entre outros (DAL MOLIN, 2005).

Freitas (2013) diz que os aditivos minerais são materiais silicosos moídos a pó, em geral provenientes de algum tipo de resíduo industrial, que quando adicionados ao cimento, produzem características particulares no concreto. São classificados como Pozolânicos e/ou cimentantes. As pozolanas são materiais silicosos ou aluminosilicosos que, por si só, quase não tem propriedades hidráulicas, entretanto, quando transformados em pó, na presença de umidade em temperatura ambiente reagem com o hidróxido de cálcio, formando compostos de propriedades cimentícias. Como exemplo, tem-se a cinza volante que consiste em um pó proveniente de fornos que queimam carvão mineral moído como combustível, constituídas por vidro de silicato contendo alumínio, ferro e álcalis. A sílica ativa ou microssílica, também pozolânica, é um pó fino pulverizado obtido do processo na fabricação do silício metálico ou ferro silício, gera reações altamente pozolânicas, fixando a cal livre, selando muitos dos pequenos vazios internos do concreto, diminuindo a permeabilidade e aumentando a resistência mecânica do concreto. Os aditivos minerais com características cimentantes reagem hidratando a matriz com a água, o principal aditivo cimentante é a escória granular de alto-forno, é um resíduo proveniente do forno siderúrgico na fabricação de ferro gusa, dentre suas características então a redução da permeabilidade, aumento da resistência mecânica e a ataque de sulfatos.

2.2.4 Propriedades físicas e mecânicas

Na preparação do concreto, com a mistura dos agregados graúdos e miúdos com cimento e água, tem início a reação química do cimento com a água, resultando gel de cimento, que constitui a massa coesiva de cimento hidratado. A reação química de hidratação do cimento ocorre com redução de volume, dando origem a poros, cujo volume é da ordem de 28% do volume total do gel. Durante o amassamento do concreto, o gel envolve os agregados e endurece com o tempo, formando cristais. Ao endurecer, o gel liga os agregados, resultando um material resistente e monolítico, o concreto. A estrutura interna do concreto é heterogênea: adquire forma de retículos espaciais de gel endurecido, de grãos de agregados graúdo e miúdo de várias formas e dimensões, envoltos por grande quantidade de poros e capilares, portadores de água que não entrou na reação química e, ainda, vapor d'água e ar. fisicamente, o concreto representa um material capilar pouco poroso, sem continuidade da massa, no qual se acham presentes os três estados da agregação, sólido, líquido e gasoso.

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações.

2.2.5 Propriedades do concreto no estado fresco

Para Helene e Andrade (2007), a trabalhabilidade do concreto é influenciada por fatores intrínsecos, como a relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento, teor de argamassa, tamanho, textura e forma dos agregados. Também, existem os fatores externos de influência, como as condições de transporte, lançamento, características da forma, esbelteza dos elementos estruturais, densidade e distribuição das armaduras, dentre outros fatores.

Petrucci (2005) também afirma que uma das maneiras de medir a trabalhabilidade do concreto fresco é com o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, a qual é medida pelo abatimento (deformação) causado na massa do concreto pelo seu próprio peso.

Para Petrucci (2005), exsudação é a tendência de a água de amassamento vir à superfície do concreto recém-lançado. É atenuada por misturas muito ricas, cimentos muito finos (representado pela superfície específica), e agregados naturais de cantos arredondados.

Mehta e Monteiro (2008) explicam a importância de reduzir a exsudação do concreto, pois apenas parte da água atinge a superfície, ou seja, parte dela pode ficar retida sob partículas de agregado graúdo e barras de aço, reduzindo a resistência dessas áreas. Além disso, também pode enfraquecer a superfície de uma viga ou de um pilar de concreto armado deixando-a mais fraca do que a parte inferior.

Neville (1997) coloca outra situação em que, com a exsudação da água, ela deixa capilares atrás de si quando percorre o caminho até a superfície do concreto, podendo aumentar sua capilaridade.

Deficiências nas propriedades do concreto no estado fresco, tais como a perda de trabalhabilidade no lançamento, segregação e exsudação durante o adensamento, ou, ainda, uma taxa excepcionalmente baixa de ganho de resistência pode prejudicar o produto final e reduzir a vida útil (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.2.6 Propriedades do concreto no estado endurecido

A seleção de um material construtivo para uma aplicação específica tem que levar em conta a capacidade de suportar carga, que pode ser expressa em termos de resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade e dureza (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Com o intuito de avaliar a durabilidade dos concretos com adição de pozolana, Frizzo (2001) concluiu que existe uma relação inversa entre a resistência à compressão, a permeabilidade e a absorção. Sánchez et al (2009) também concluíram que a resistência à compressão é inversamente proporcional à porosidade total das argamassas. Assim como Pandey et al (2000) observaram que a resistência mecânica reduziu à medida que aumentou a porosidade em amostras de argamassas de cimento Portland.

Define-se a massa específica do concreto como a massa da unidade de volume, incluindo os vazios. Os concretos estruturais devem ter massa específica normal, ou seja, depois de secos em estufa, devem ter massa específica compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 (HELENE; ANDRADE, 2007).

2.3 CONCRETO TÊXTIL

Scheerer, e outros (2015) diz que no concreto armado, a grande desvantagem abrange a sua baixa resistência a ataques corrosivos no aço. Com isso, deu-se início na Alemanha a uma busca por uma variação de reforço, algo que pudesse mitigar tais patologias substituindo o aço por outro material menos suscetível, algo que pudesse surgir através do desenvolvimento e aperfeiçoamento de materiais inéditos que resultaram numa consequência lógica deste processo.

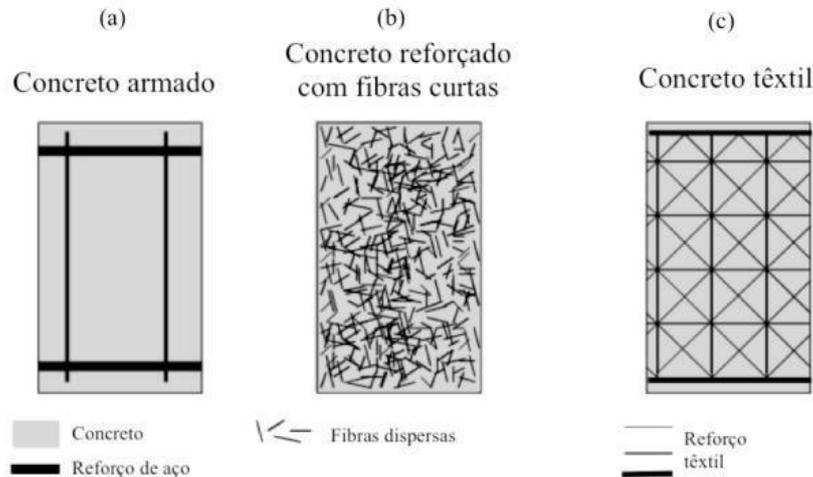
Naaman (2010) conta que em 1980 na Alemanha, já se buscava uma forma de retirar o aço utilizado no concreto armado, substituindo-o por fibras entrelaçadas e contínuas de carbono em conjunto com fibras de vidro em diferentes formas como malha ou tricotado de mesmo material. Ao final dos anos 90 este compósito passou a ser conhecido como concreto têxtil, alternativa encontrada para acabar com as patologias encontradas no concreto armado como a corrosão e a vulnerabilidade a ataques de agentes agressivos.

As pesquisas referentes a esse material, culminaram na década de 90, primeiramente na Alemanha, mais especificamente na universidade nos laboratórios da Universidade Técnica de *Dresden*, pela iniciativa do professor Manfred Curbach, em conjunto com o Instituto de Pesquisa Têxtil Saxon (STFI), em Chemnitz e WZT Tecnologia Têxteis na cidade de Dresden. No Brasil a tecnologia já está sendo estudada na UFRS e no LEME. O compósito é formado por basicamente uma rede formada por polímeros, fibras de carbono, vidro, resinas epóxi e aramida, capaz de substituir as armaduras de aço que há quase 200 anos compõem as estruturas feitas de concreto armado. A primeira obra está localizada na cidade de *Albstadt*, é uma passarela com 100 metros de comprimento, inaugurada em 2010.

Concreto têxtil (CT) ou como é conhecido no exterior: Textile Reinforced Concrete (TRC) é um material compósito feito com cimento de granulação fina e uma estrutura têxtil de malha aberta constituída por fibra de vidro ou carbono. A estrutura heterogênea dos têxteis no CT leva a uma elevada complexidade no comportamento de suporte de carga com uma multiplicidade de efeitos de e interferências. Devido a diferenças nas características do material, os modelos de design conhecidos pelo concreto armado não se aplicam ao concreto têxtil sem considerações adicionais. (HEGGER; WILL; MAIKE, 2016).

Fuchs (2001) apud Scheerer *et al.*, (2015) faz alusão ao novo compósito, capaz de substituir o aço com maior resistência a tração e bem mais resistente a ataques de sulfatos. O material inovador capaz de durar cerca de 200 anos, foi inicialmente pesquisado no Instituto de Pesquisa de Têxtil Saxão na cidade de Chemnitz, na Alemanha em conjunto com o WZT Tecnologia Têxteis na cidade de Dresden, Alemanha, após anos de pesquisa, chegou-se ao material revolucionário, com a vantagem de ser maleável, permitindo a confecção de inúmeras esculturas e objetos de diversas formas. Ambos fizeram a patente do compósito, chamando-o de concreto têxtil em 1990. O objeto de patente número DD 275 008, mostra alguns exemplos desse ilustre elemento: "fios de reforço de fibra de carbono" com espessura de 8 mm e um espaço entre as malhas de 25 mm, também chamado de reforço têxtil, devido a sua aparência.

Figura 2 - Reforços utilizados no concreto: (a) concreto armado, (b) concreto reforçado com fibras curtas e (c) concreto com reforço têxtil



Fonte: adaptado de HEGGER *et al.*, 2006

A utilização de fibras em compósitos aglutinantes é um conceito antigo. Pequenas fibras de vidro álcali-resistentes, de plástico, aço ou qualquer outro material que contenha resistência são geralmente utilizados como reforço do concreto em diversas pesquisas. Estas pequenas fibras, quando entrelaçadas, propiciam resultados positivos quando o assunto é seu comportamento à flexão, sendo largamente utilizadas em pisos com altas solicitações de carga, como PMAP, pisos industriais e estacionamentos de veículos de grande (SCHEERER *et al.*, 2015). Contudo, se as pequenas fibras forem colocadas aleatoriamente em um material aglomerante, suas características como a alta resistência a tração são perdidas, a não ser que sejam colocadas em grandes porções, sendo assim, é necessário que as fibras sejam transformadas em malhas para que se possa tirar seu maior proveito (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2003).

Segundo Gonçalves (2003), quando utilizamos as fibras no concreto, formam uma ligação entre as bordas das fissuras de modo que, para aumentar a abertura das mesmas é necessária mais energia. Caso ocorra a ruptura, ela se dará por deslizamento da fibra, por ruptura desta ou por deslocamento da matriz de concreto nas vizinhanças da fibra. É este o comportamento que a fibra proporciona, por conseguinte gerando uma melhoria de outras propriedades como rigidez, ductilidade, tenacidade ao impacto e a fadiga, contudo, apesar de oferecer melhorias ao concreto, ao dispersar as fibras de forma aleatória, não se pode explorar suas vantagens totalmente.

O mundo contemporâneo é constituído de concreto, na engenharia civil, sabe-se que o concreto é muito resistente, cerca de 10 vezes mais a compressão do que a tração. Para alterar o problema com a tração no concreto, que mesmo utilizando o reforço com aço, acarretando patologias como corrosão e fadiga, aumenta significativamente o custo de implantação e manutenção da estrutura. Com o avanço da arquitetura contemporânea e a busca por obras mais sustentáveis, um conceito inovador que poderá mudar completamente este cenário, é o reforço têxtil, sendo assim, nos últimos anos, diversos cientista vem estudando formas de melhorar este compósito criado inicialmente na Alemanha e denominado de “Textile Reinforced concrete” (GAYATHRI, BABY SINGH, DHANALAKSHMI, 2008).

Ainda segundo Gayathri, Singh e Dhanalakshmi (2018), o concreto é um material compósito feito de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Betão tem relativamente alta tenacidade à compressão, mas significativamente baixa resistência à tração. Como resultado, sem compensação, concreto falharia à tração mesmo quando submetido a uma alta compressão com excentricidade. Por conseguinte, um material para reforçar à tração é usado nos casos em que o concreto é submetida a esse esforço. Concreto Armado é a forma mais comum utilizada. O reforço é muitas vezes de aço (de malha, espiral, Barras e outras formas), que, infelizmente, também tem grandes desvantagens de ser susceptíveis à corrosão e à fadiga. O CT é um tipo de concreto em que a malha de fibra de carbono é utilizada como reforço à tração no concreto. Os tecidos fortes com elevada resistência à tração e propriedades de alongamento são reforçados para o concreto. As fibras mais utilizadas para fazer os tecidos são de fibra de vidro, fibra de carbono, aramida, polipropileno e poliamidas (Nylon). A tecelagem do tecido é feita por maquinário de alta tecnologia. Como resultado, o concreto reforçado com fibras de têxtil torna-se flexível, tenaz, durável e dúctil.

2.3.1 MATRIZ

Os agregados utilizados na matriz do concreto têxtil, precisam ter um tamanho pequeno ao ponto de conseguirem passar pela malha de reforço têxtil, agregados miúdos com granulometria menor que 4 mm, sendo assim, a matriz, por não utilizar grãos > 4 mm, não podem conter agregado graúdo, assemelhando-se a uma argamassa. Todavia, a argamassa utilizada no CT possui propriedades mecânicas de

alta performance afins ao concreto auto-adensável (CAA) e por esta razão é chamada de concreto fino ou concreto (MORASSUTTI, 2016).

Naaman (2010) *apud* Denardi (2016), define o compósito: O CT é um concreto com reforço de fibra de carbono juntamente com fibra de vidro álcali-resistente, consistindo numa matriz de aglomerante hidráulico com várias camadas de reforço bidimensionais, com espaçamento de 8 a 25 mm e com camadas tridimensionais. É colocado pelo menos uma malha têxtil adjacente à face superior e inferior da placa estrutural. As malhas têxteis são constituídas geralmente de sintéticos, orgânicos, polímeros ou qualquer outro insumo adequado. O tamanho das partículas de cimento utilizado na confecção do CT deve ser compatível com o sistema estrutural da malha, para que possa envolvê-la resultando numa maior coesão. O compósito comporta também a utilização de microfibras e/ou fibras contínuas nas proporções adequadas. Ao comparar o têxtil, feito com material de alto desempenho, com o aço como reforço, é provável que a vantagem de um sobre o outro dependerá de outros critérios além de resistência ou módulo de ruptura, incluindo a maleabilidade, pose próprio e baixo custo. Além disso, a facilidade de produzir arquiteturas 3D e a possibilidade de usar composições híbridas de reforço podem fornecer a melhor solução. Claramente, a capacidade de fabricação de um determinado têxtil 3D a um custo razoável proporcionará uma vantagem fundamental (NAAMAN, 2010).

2.3.2 Formação da matriz

A matriz necessita de uma composição que abranja a importante habilidade de passar pela malha penetrando-se nas fibras, a fim de garantir total aderência ao reforço. A composição da matriz do concreto fino deve ser ajustada para cada caso, pois, sua constituição pode variar com a necessidade do uso (resistência mecânica e a agentes agressivos, fluidez, durabilidade, etc....) (MORASSUTTI, 2016).

No concreto têxtil, utiliza-se a matriz de base mineral, a fim de se compor uma argamassa especial, é usado em sua composição aditivos minerais, tais como: cinza volante, sílica ativa, pozolana, areia e plastificante, em conjunto com o cimento Portland. Brameshuber e Brockmann (2001) testaram diversas composições, afim de chegar a melhor matriz.

2.3.3 Reforço têxtil

A fibra têxtil utilizada no concreto têxtil deve conter características para se tornar parte integrante da estrutural final, deve possuir módulo de elasticidade superior à do concreto armado, para que a estrutura continue estável quando houver fissuras ou trincas. O compósito deve contar com aditivos minerais ou artificial para conter a entrada de agentes agressivos ao concreto como a alcalinidade, capa cidade estrutural para suportar cargas acidentadas e permanentes, além de manter uma boa aderência com a pasta (MORASSUTTI, 2016).

O material básico do reforço é o filamento podendo ser transpassado, tricotado ou disposto em camadas multiaxiais. Cada fio possui entre 5 e 30 μm de diâmetro, variando de acordo com o composto utilizado (KULAS; GMBH, 2015).

A malha é formada por uma junção de fios que ao serem entrelaçados formam fascículo, são basicamente: vidro álcali-resistente com carbono e aramida. Seu peso é tão pequeno que sua unidade de medida é em grama por quilômetro, sendo calculado por sua massa específica, na Alemanha, sua unidade é o tex. Tendo como exemplo, um fascículo de 100 tex (g/Km) é aproximadamente 250 fios com diâmetro de 14 μm e massa específica de 2,68 g/cm³ (RAUPACH *et al.*, 2006).

Procedimentos técnicos utilizados na fabricação do fascículo o torna têxtil, podendo ser: malhas com fios entrelaçados como tecidos tricotados, trançados ou transpassados (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2003), são costurados, colados, e ainda podendo serem feitos em camadas multiaxiais.

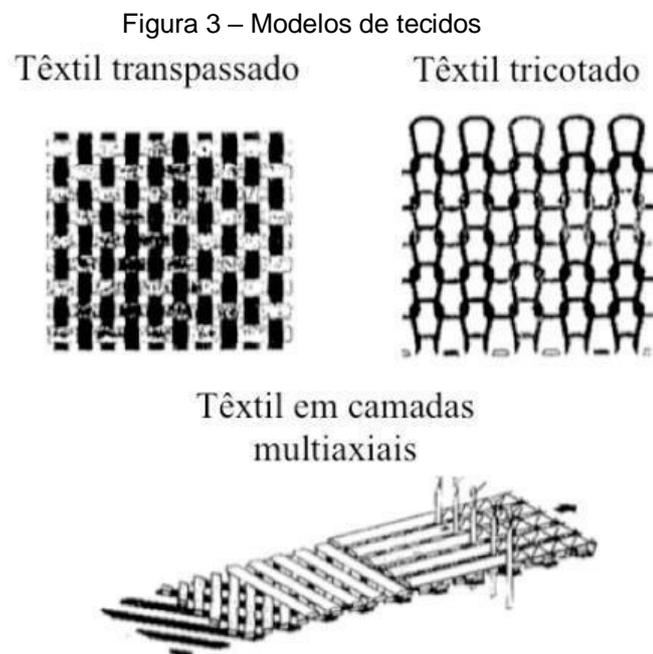
A fineza, densidade e quantidade de fios utilizados em um fascículo, bem como a distância entre cada nó, influencia diretamente nas propriedades mecânicas do compósito, podendo também alterar o quanto a matriz penetrará no conjunto de filamentos. O procedimento de fabricação dos fios, bem como a preparação do fascículo, deve assegurar que a matriz penetre com êxito na malha, afim de garantir uma boa coesão entre os dois materiais e em consequência, aumentando a durabilidade e resistência da peça (COHEN *et al.*, 2006; PELED *et al.*, 2008, PELED; BENTUR, 2000).

A constituição dos filamentos é dada por fibras que são categorizadas como de baixo ou alto módulo, relativo ao módulo de elasticidade do concreto. As fibras de nylon, polietileno e polipropileno são classificadas como baixo módulo (NAAMAN, 2010). As fibras de vidro, carbono, aramida e polietileno de alta densidade classificam-

se como alto módulo (PELED; BENTUR, 2000). Tanto em ambientes agressivos como estáveis, recomenda-se a utilização das fibras de alto módulo.

2.3.3.1 Modelos de reforço têxtil

O reforço têxtil confeccionado em formato de tela (camadas multi-axiais) é produzido pela superposição de fibras em diferentes direções, com os pontos de encontro entre filamentos fixos ou não. Estas disposições de reforço podem ser confeccionadas também em formatos circulares na forma de um pilar com diversos diâmetros. O reforço em forma de malha (transpassado) é semelhante à tela, tendo somente como diferença é que os filamentos confeccionados na direção perpendicular ao filamento principal, é inserido no padrão da malha ainda na sua fabricação. Com essa forma de distribuição, evita que os filamentos sejam cortados, reduzindo suas chances de romper, elas também podem ser apenas arranjadas, mas nessa disposição, diminuiria sua estabilidade e aumentaria a chance de deslocamento. O tecido tricotado leva esse nome devido a sua forma de confecção, os filamentos são entrelaçados em forma de ohm, aumentando assim, sua resistência a tração (MORASSUTI, 2016).



Fonte: adaptado de BRAMESHUBER; BROCKMAN (2003)

2.3.4 Propriedades mecânicas

A interação do têxtil com a matriz e a resultante deste processo são processos responsáveis pela resistência a tração do concreto têxtil. É evidente que ao submeter o concreto têxtil ao ensaio de tração, o gráfico resultante deste procedimento deverá ser linear até o ponto de curvatura ou ponto de escoamento, representando a transição da linearidade. Esta etapa inicial mostra a formação de diversas fissuras isoladas no corpo de prova (CP), terminando quando uma fissura se estende por todo o corpo. O número de fissuras iniciais depende da proporção volume/matriz/tecidos (MORASSUTI, 2016).

Segundo Morassuti (2016) A função das fibras constantes no CP é de retardar a fissuração, transferindo as tensões para a matriz de concreto fazendo com que se possa aumentar a carga ao longo de uma deformação enquanto a fissuração da matriz continua. Capacidade a qual se prevê a deformação da fase da matriz na presença de fibras.

O estado do corpo de prova após o ponto de curva no ensaio de tração é caracterizado pela formação de diversas fissuras. A resultante deste ensaio demonstra que o compósito possui alta rigidez, evitando que as novas fissuras formadas se alastrem e por ipso-facto, promova novas fissuras. O estado final mostra danos progressivos e abertura das fissuras, levando ao escorregamento do tecido. Resistências à tração de cerca de 50 MPa foram alcançadas com CP com fibras contínuas de 9% de fração do volume de fibras. (HEGGER *et al.*, 2006).

2.3.5 Parâmetros de dimensionamento

O modelo de dimensionamento do concreto têxtil não pode ser simplesmente copiado do concreto armado, como as propriedades do reforço têxtil diferem das do reforço de aço, como por exemplo, a aderência pasta-reforço, suas reações aos carregamentos são completamente diferentes (HEGGER; VOSS, 2008, p. 2050).

Segundo Naaman (2010) geralmente parte da hipótese de que o reforço e a matriz possuem propriedades químicas compatíveis, com isso, a perfeita harmonização está na interação do reforço têxtil com a matriz, resultante de uma boa aderência. Baseando-se nessa propriedade mecânica, para se projetar estruturas com reforço têxtil, é necessário sobrepor a tenacidade à tração do reforço, à resistência a compressão do précipuo e conseqüentemente o módulo elástico do compósito sobre

ao módulo elástico da matriz.

Morassutti (2016) faz em sua monografia um estudo comparativo de dimensionamento entre duas passarelas, sendo uma em concreto armado e a outra em concreto têxtil. A passarela em formato U com reforço têxtil, de dimensões 2,50 m de largura, 1,2 m de guarda corpo, 0,04 m e 12,5 m de extensão, foi dimensionada sob um carregamento 23,69 kN/m e pesando apenas 3,80 kN/m. Em comparação com a ponte em concreto armado convencional, onde para vencer o vão de 12,5 m foi necessário pilares de 0,4 m e vigas de 0,15 m, dimensionada com um carregamento de 41,12 kN/n, essa diferença se dá pelo peso próprio da estrutura.

A diferença entre as duas passarelas é evidente logo na concepção estrutural. A estrutural dimensionada em concreto têxtil permite a utilização de elementos mais elegantes e esbeltos, sendo capaz a escolha de uma seção transversal onde reduza o momento de inércia, reduzindo assim, suas dimensões. Em comparação com a passarela em concreto armado, essa redução no peso próprio foi de 77,5%. Isto impacta diretamente nos custos de implantação da estrutura, podendo ter fundações menores e mais leves, uma produção mais rápida e um transporte mais barato. Observa-se também, a diferença nas solicitações da estrutura, que obtiveram uma redução de 42,3%.

Figura 4 – Comparação dos momentos fletores

Parâmetro	Concreto armado	Concreto têxtil	Diferença
Peso próprio	16,87 kN/m	3,80 kN/m	77,5%
Solicitações	803 kNm	463 kNm	42,3%
Momento fletor	<ul style="list-style-type: none"> • Hipótese de Bernoulli • Compatibilidade de deformações • Concreto não resiste à tração • Diagrama retangular 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesmas hipóteses <ul style="list-style-type: none"> • Estádio IIb • Concreto de alta resistência • Coeficiente de segurança = 1,5 	Eficiência das fibras, aderência
Espessura	12 cm	4 cm	66%

Fonte: Adaptado de MORASSUTI (2016)

2.3.6 Análise de custo

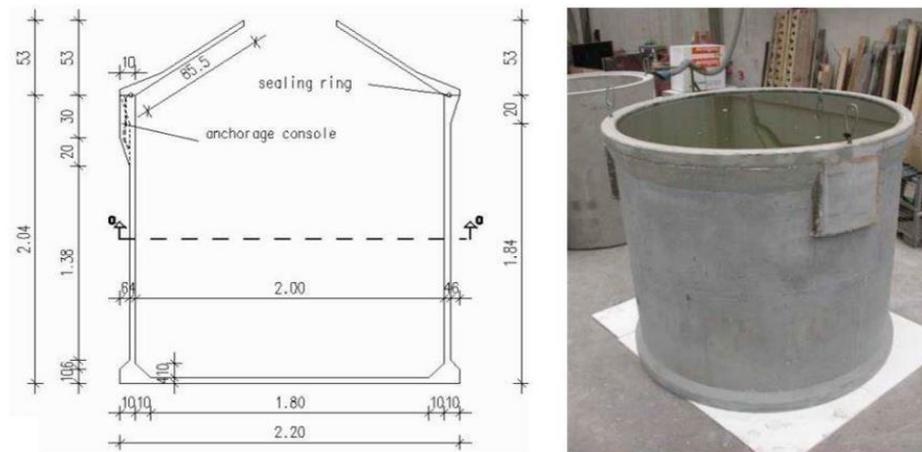
Segundo Mattos (2006), não podemos confundir orçamento com orçamentação. Pois, um é o produto e o outro o processo de determinação. O processo de estimativa dos custos tendo como consequência o estabelecimento do preço de venda, é um simples exercício de previsão. Uma gama de produtos contribui para o custo total de um empreendimento. O processo de orçamentação envolve a descrição, identificação, quantificação e valorização de uma variedade de itens, requerendo atenção e habilidade técnica. Como é um processo decorrido antes da construção do produto, deve-se ter um amplo estudo para que mitigue qualquer problema na composição do custo. Um dos fatores primordiais para um fim lucrativo e o sucesso do construtor é uma orçamentação eficiente. Quando o orçamento não é realizado da forma correta, acarreta imperfeições e possíveis frustrações de custo e prazo. Aliás, geralmente erra-se para menos, mas errar para mais tampouco é bom.

Naaman (2010) realizou uma pesquisa com a finalidade de comparar os custos entre os compósitos, utilizou placas com malhas com diferentes composições e costuras, porém, todas dimensionadas com o mesmo carregamento e solicitação à flexão. Denominou como preço de pagamento 31 o maior preço que o mercado pagaria para utilização da malha. Os detalhes do estudo encontram-se em NAAMAN, 2005, "Thin Cement Composites: Performance Comparison between Steel and Textile Reinforcements", a composição de preços tem como base o ano de 2004, cotado em dólares. Ele estipulou como unidade de preço 1 como 1 kg de malha de arame de aço galvanizado do tipo utilizado em aplicações típicas de ferrocimento a fim de facilitar futuras pesquisas. O reforço têxtil feito de fibra de carbono oferece algumas vantagens, pois pode ser confeccionado mudando o espaçamento de suas malhas, são facilmente ajustadas a qualquer medida, sendo possível a adequação a qualquer solicitação de projeto. É axiomático que com o passar do tempo e aperfeiçoamento do reforço têxtil, o compósito estará cada vez mais no mercado competindo com os demais reforços, principalmente quando uma análise do custo da mão de obra é considerada.

2.3.7 Aplicações do concreto têxtil

Com o concreto têxtil criado pela universidade de *Dresden*, é possível construir peças de arte e objetos de diversas formas devido a sua maleabilidade. Quando colocado em comparação com o concreto armado convencional, outras vantagens surgem, como o consumo cerca de 80% menor de massa que no concreto, a não utilização de agregados graúdos e o uso da argamassa alto adensável, fatores que ao relevar a confecção de peças pré-moldadas, é visível a agilidade e economia no transporte (KULAS; GMBH, 2015).

Figura 5 – Tanque para tratamento de efluentes



Fonte: Adaptado de HEGGER et al., 2006, *apud* MORASSUTTI (2016)

Figura 6 – Passarela na cidade de Kempten, Alemanha em concreto



Fonte: Adaptado de BAUINGENIEUR24, 2007, *apud* MORASSUTTI (2016)

Figura 7 – Ponte em concreto têxtil na cidade de Albstadt, Alemanha



Fonte: Adaptado de REGIERUNG, ALBSTADT (2018)

A primeira obra que foi utilizado o concreto têxtil foi em *Saxon oschatz*, em 2006, na Alemanha, tendo como escopo a diminuição do peso e material gasto. A passarela tem comprimento de 8,60 metros, largura de 2,60 metros, um total de 6 toneladas e apenas 30 mm de espessura. Em 2010, na cidade de Albstadt, também na Alemanha, fora construída uma passarela que utilizara tanto concreto têxtil quanto concreto armado. As vigas em formato T dando forma a passarela com dimensões de 3,21 x 97 metros, mostra que a junção dos dois tipos de compósitos resulta numa estrutura mais esbelta, resistente e estável (MORASSUTTI, 2016).

Em 2007, na cidade de *Kempten*, foi construída uma ponte com reforço têxtil pré-fabricada na Saxônia e instalada com o auxílio de um guindaste, representada na figura 7. A ponte com 2,5 m de largura, 0,03 m de espessura, 18 segmentos de 0,93 m totalizando 16,74 m de extensão e apenas 12,5 toneladas faz a conexão de Mariaberger e a Innere Rottach em Kempten. O projeto foi desenvolvido na Universidade técnica de Dresden com a supervisão do Professor Manfred Curbach atual presidente da *Collaborative Research Center 528* (SFB 528 Textile reforços para reforço estrutural e Reparação). Segundo Curbach, foram realizados todos os ensaios a fim de cumprir os valores prescritos em norma. Curbach relata que uma ponte em concreto armado para as mesmas solicitações pesaria pelo menos 3 vezes mais (WIEG, 2007).

Em 2010, na cidade de Albstadt, construiu-se a maior ponte de concreto têxtil do mundo. O projeto batizado de “Projeto farol”, foi realizado pela empresa *Albstädter Groz-Beckert*. A ponte com 3,6 m de largura e 97 m de comprimento se estende desde o Castelo de *Stauffenberg* até a escola *Ignaz Demeter*. Com isto, permite a passagem de cerca de 463 alunos todos os dias. A deixa para o projeto foi a demolição da ponte de concreto armado que existia no local, mas que não cumpria os padrões de segurança. Um contrato firmado entre a cidade de *Albstadt* e a empresa *Groz-Beckert* foi o primeiro passo para a construção da inovadora ponte de concreto têxtil. A cidade arcou com o custo de 600.000 €, valor de mercado que pagaria por uma ponte de concreto armado com as mesmas solicitações, enquanto a empresa arcou com o restante do custo que chegara próximo a 1.000.000 €. Os materiais utilizados na ponte, apesar de em 2010 o concreto têxtil não ser normatizado ainda, foram testados no laboratório da *Universidade de Aachen* e comparados com parâmetros de normas de concreto vigente. O prédio foi aprovado após autorizações e aprovação individual (REGIERUNG, 2011).

Com base em suas características que desfavorecem o avanço de patologias que afetam o concreto armado como a corrosiva, peças de concreto têxtil (CT) tem a habilidade de serem confeccionadas com seções transversais abastadamente mais finas que qualquer peça de concreto armado convencional, entre 5 e 50 mm de espessura por camada. Também, possuem a aptidão de resistirem a altas cargas devido ao concreto que pode ser dosado pré-definindo uma resistência característica de projeto, sua baixa porosidade consequente da utilização de uma matriz de fina granulometria, não o deixa suscetível a ataques de agentes agressivos, tendo uma durabilidade muito maior. O grande benefício na utilização do concreto têxtil em relação ao concreto armado é a sua habilidade de se adaptar a inúmeras formas icônicas arquitetônicas, possíveis através do reforço têxtil (KOCH *et al.*, 2015).

Segundo Naaman (2010), a malha utilizada para reforçar o concreto têxtil, sendo pré-projetada, serviria como uma luz para a arquitetura futurista, pois, com a mesma, seria possível inimagináveis tipos de aplicações. Atentando-se também para o peso da malha de reforço que sendo de carbono, por exemplo, um painel composto de cimento pode ser de apenas 2% do peso do compósito. A matriz, essencialmente feita de cimento, areia fina, grossa água, cinza volante, sílica ativa e aditivo, pode ser moldada de diversas formas e com o uso do aditivo correto, a peça pode estar em seu estado endurecido em menos de 24 horas.

3 METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

A finalidade metodológica desta pesquisa é aplicada, objetivando gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Trata-se de uma pesquisa qualitativa. Pesquisa qualitativa é um método de investigação científica que se foca no estudo das particularidades e experiências individuais, nesta pesquisa as respostas não são objetivas, e o propósito não é contabilizar quantidades como resultado, mas sim conseguir compreender o comportamento de determinado grupo-alvo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Como o objetivo metodológico exploratório, este tipo de pesquisa objetiva gerar maior proximidade com o problema, tornando-o mais explícito ou construindo hipóteses. A maior parte desses estudos envolvem: Levantamento bibliográfico; Entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado E a análise de exemplos que estimulem a compreensão. Sendo classificadas também como pesquisa bibliográfica e estudo de caso (GIL, 2007).

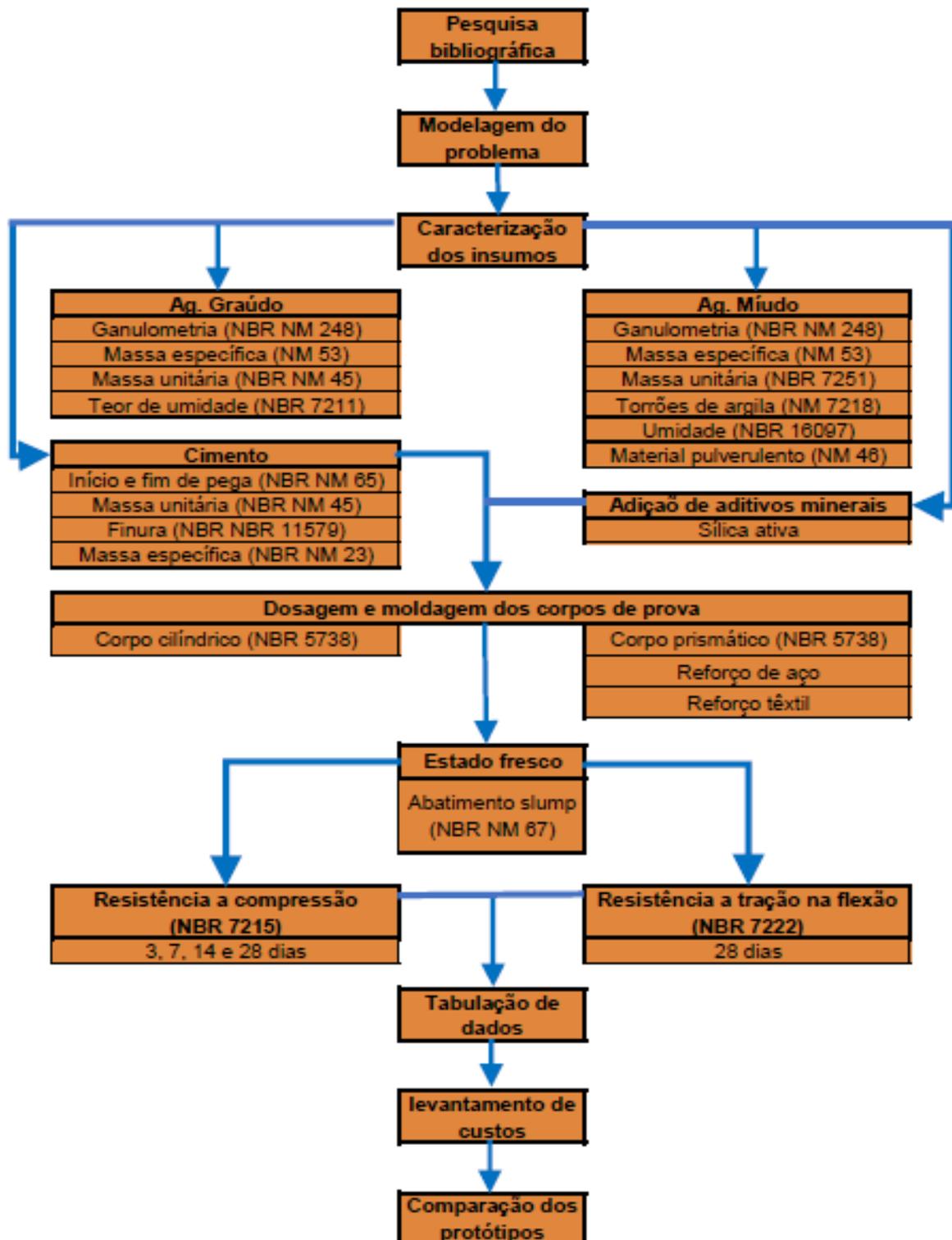
O estudo experimental segue um planejamento rigoroso. As etapas de pesquisa iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que atuam no fenômeno estudado (TRIVIÑOS, 1987). Para Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

3.2 DETALHAMENTO DOS PROCEDIMENTOS

3.2.1 Fluxograma

A figura 8 mostra o Fluxograma da metodologia que foi utilizada na pesquisa.

Figura 8 – Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.2 Modelagem do problema

Para a realização deste estudo, foi necessária uma pesquisa bibliográfica minuciosa a fim de adquirir parâmetros como traço de dosagem do concreto, e análise de estruturas bem como taxa de armação para prosseguimento dos ensaios.

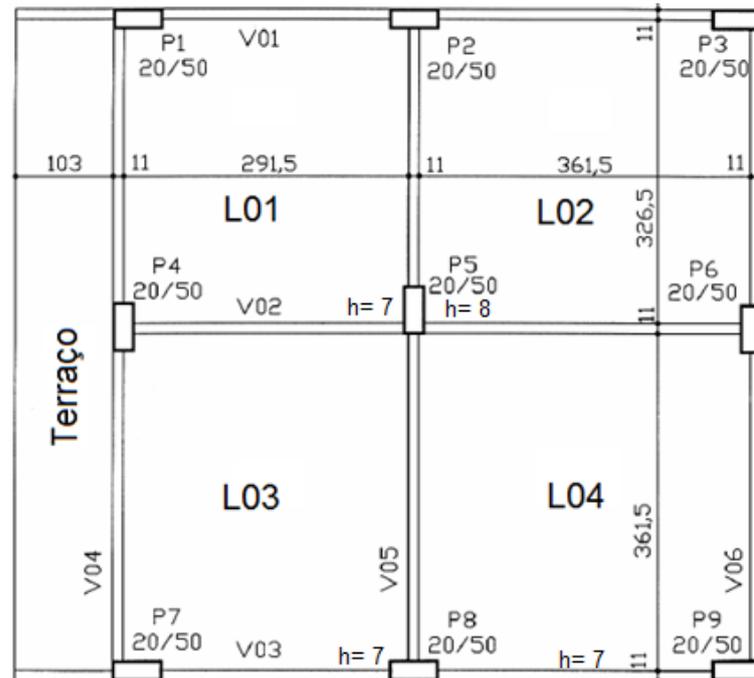
Para maior efeito de fidedignidade, a estrita modelagem do problema se tornou necessária. O objeto de estudo em questão, fora avaliado em laboratório com o intuito de analisar suas características mecânicas como compressão, tração e posteriormente a contrastação dessas informações com o concreto armado.

Foi utilizado como referência, A laje maciça revisada por José Samuel Giongo, em seu estudo - Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios - realizado em 2007 por meio do Departamento de Engenharia e Estruturas da Universidade de São Paulo (USP), que consiste no cálculo estrutural de um edifício. O estudo foi restrito apenas a utilização do concreto têxtil para confecção das lajes maciças, uma vez que, o concreto têxtil não possui um elemento para combater os esforços cortantes inerentes a vigas.

Para melhor comparação, foram executadas algumas modificações nas referências utilizadas para a realização desta pesquisa. O traço de concreto têxtil utilizado por Hegger (2010) foi dimensionado para uma estrutura com resistência de 87 Mpa, o que foge da realidade brasileira, para tal referência, foi levantado dados de edifícios entre 10 e 25 pavimentos, que utilizaram para lajes, uma resistência média aos 28 dias de 25 Mpa. Sendo assim, os traços de concreto têxtil e concreto armado foram alterados seguindo o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para dosagem do concreto e da argamassa têxtil com uma resistência de 25 Mpa aos 28 dias.

A estrutura analisada consiste em um pavimento tipo de um edifício destinado a salas para escritórios, sendo que cada parte possui um banheiro, uma copa e três salas, sendo possível também o acesso de pessoas a um terraço, sendo demonstrada sua planta baixa na figura 9.

Figura 9 - Planta baixa do pavimento tipo - referência



Fonte: adaptado de Giongo (2007, p. 143)

As lajes maciças dimensionadas no trabalho de Giongo (2007) foram calculadas com concreto armado de resistência de 20 MPa, logo, fez-se necessário o ajuste deste dado nos cálculos, no redimensionamento, a resistência do concreto foi para 25 Mpa, a altura da laje 2 continuou a mesma, porém, as demais lajes aumentaram sua altura em 1 cm a fim de uma melhor distribuição da armadura negativa.

Utilizando o projeto arquitetônico da figura 9, que consiste num pavimento tipo de um edifício comercial, contendo 3 salas de escritório, 2 banheiros e uma copa, foi redimensionada a estrutura para uma resistência de 25 MPa, tendo como sala 1 a L04, sala 2 a L03, sala 3 a L01 e a copa com os banheiros ficam na L02. Foi consultada a NBR 6118/2014 a fim de atualizar o dimensionamento que fora realizado com a NBR 6118/2003, bem como o levantamento das sobrecargas de uso na estrutura.

A NBR 6118/2014 ressalta que a classe de agressividade de um ambiente urbano é II, ou seja, moderada e com risco de deterioração da estrutura pequena, exigindo um cobrimento mínimo de 2,5 cm da armação em lajes e uma altura mínima de 7 cm para laje maciça não em balanço, ressaltando que para uma laje dessa espessura, é obrigatório os ensaios regidos pela norma de desempenho.

Sendo assim, na tabela 1 estão dispostas as características das lajes.

Tabela 1 - Características do projeto

Laje	Ly (cm)	Lx (cm)	λ	Direção armação	h (cm)	d (cm)	Carga (kgf/m ²)
L01	337,50	302,50	1,12	2	7,00	4,50	680,00
L02	372,50	337,50	1,10	2	8,00	5,50	871,00
L03	372,50	302,50	1,23	2	7,00	4,50	680,00
L04	372,50	372,50	1,00	2	7,00	4,50	680,00

Ly - Maior dimensão da laje
Lx - Menor dimensão da laje
 λ - classificação quanto a direção da armação
h - Altura da laje
d - Distância entre a armação e a parte mais comprimida

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Para os cálculos dos momentos foi necessário a extração através da razão Ly/Lx dos dados (m_x , m_y , k_x e n_x) da tabela de coeficiente, foram utilizadas nas fórmulas constantes no quadro 1:

Quadro 1 - Formulário utilizado para o redimensionamento das lajes referência

Momentos		Flecha máxima	Mod. elasticidade	Inércia	Flecha
$M_x = \frac{q \cdot L_x^2}{m_x}$	$X_x = \frac{-q \cdot L_x^2}{n_x}$	$F_x \leq \frac{L_x}{300}$	$E = 5600 \cdot \sqrt{F_{ck}}$	$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$F_x = \frac{2 \cdot M_x \cdot L_x}{384 \cdot E \cdot I}$
$M_y = \frac{q \cdot L_y^2}{m_y}$	$Q_x = k_x \cdot q$ $Q_y = q - X_x$	$F_y \leq \frac{L_y}{300}$			$F_y = \frac{5 \cdot M_y \cdot L_y}{384 \cdot E \cdot I}$
Legendas					
Mx - momento no eixo x My - Momento no eixo y Xx - momento negativo Qx - minoração do mom. Qy - Variação do mom.	Fx - Flecha máx no sentido x (cm) Fy - Flecha máx no sentido y (cm) Lx - Menor dimensão Ly - Maior dimensão	Fck=resistência característica de projeto (Mpa) E - Módulo de elasticidade b - base (cm) h - altura (cm) I - inércia (cm)	Fx - Flecha calculada em x Fy - Flecha calculada em y		

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Após o levantamento do carregamento inerente às lajes, momentos, flechas máximas e adotadas, é possível agora realizar o cálculo da taxa de armação em cada laje e se necessário a armadura de distribuição. O quadro 2, mostra o formulário utilizado para a realização dos cálculos a fim de se chegar a uma taxa de armação

para as lajes.

Disposto no Quadro 2, o formulário utilizado para calcular a taxa de armação negativa.

Quadro 2 - Formulário utilizado para realização dos cálculo finais

As mínimo	As	As negativa	
$As_{mín} = \frac{0,15}{100} * b * h$	$K6 = \frac{100 * d^2}{M}$	$M = \frac{X_{x1} + X_{x2}}{2}$	$K6 = \frac{100 * d^2}{M}$
$d = h - c$	$As = \frac{K3 * M}{d}$	$M = > M * 80\%$	$As = \frac{K3 * M}{d}$
Legendas			
Asmín - Taxa mínima de armação h - Altura (cm) c - Cobrimento (cm) d - Entre o aço e a parte mais comprimida	K6 - Coeficiente de classe do concreto K3 - Coeficiente do tipo de aço Asmín - Taxa mínima de armação	M - Momento negativo Xx1 - Momento neg. 1 Xx2 - Momento neg. 2 K6 - Coeficiente de classe do concreto K3 - Coeficiente do tipo de Asmín - Taxa mínima de	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Com a utilização do formulário, é possível calcular a taxa mínima de armadura, bem como a armadura positiva nas direções dos eixos X e Y que segue na tabela 2.

Tabela 2 - Seção de aço junto à face inferior

Laje	Eixo	Flecha (cm)	As mín. (cm ² /m)	Armadura positiva		
				As (cm ² /m)	Φ (mm)	S (cm)
L01	x	1,09	1,05	1,71	6,3	17,5
	y	0,97		1,05	6,3	20,0
L02	x	1,09	1,20	2,59	6,3	12,0
	y	1,20		2,07	6,3	15,0
L03	x	0,97	1,05	1,68	6,3	18,0
	y	1,20		1,08	6,3	20,0
L04	x	1,20	1,05	2,28	6,3	13,0
	y	1,20		1,84	6,3	17,0

As mín. - Seção mínima de armadura

As - Seção de armadura

Φ - Bitola de aço

S - Espaçamento entre as barras de aço

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Posteriormente ao dimensionamento da armadura positiva, foi calculado a taxa de armadura negativa, que segue na tabela 3.

Tabela 3 - Seção de aço junto à face superior

Armadura negativa			
Laje	As (cm²/m)	Φ (mm)	S (cm)
L01-L03	4,50	6,3	7,0
L03-L04	5,62	8,0	8,5

As - Seção de armadura
 Φ - Bitola de aço
 S - Espaçamento entre as barras de aço

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.2.3 Propriedades físicas dos insumos

Para a criação dos protótipos, foi crucial a dosagem do concreto e confecção dos corpos de prova, e para tal, foi indispensável a caracterização e análise das propriedades físicas do aglomerante e agregados miúdo e graúdo envolvidos nos protótipos. Sendo assim, foram realizados todos os ensaios pertinentes como massa específica, massa unitária, granulometria, umidade, torrões de argila, material orgânico e finura de todos os insumos especificados no item 3.2.1.

3.2.4 Protótipos

Após a caracterização das propriedades físicas dos agregados e aglomerante, fez-se a dosagem do concreto que teve como referência o traço utilizado por Hegger (2006) com a utilização de microssílica e superplastificante como aditivos mineral e artificial. Posteriormente a dosagem e caracterização dos insumos, foram realizados também, todos os ensaios regidos pela ABNT sobre o insumo no estado fresco e endurecido.

Para consumação do estudo, fez-se necessário a moldagem dos corpos de prova. Os CP's (corpos de prova) para a realização mais aprofundada e fidedigna do estudo, foram dispostos em tipos de protótipos, sendo 2 corpos para cada tipo. Os tipos 1 e 2 foram rompidos aos 3, 7, 14 e 28 dias para avaliar a progressão da resistência a compressão da matriz. Os CP's 3 e 4, para tração, foram rompidos

apenas aos 28 dias, são dispostos na tabela 4.

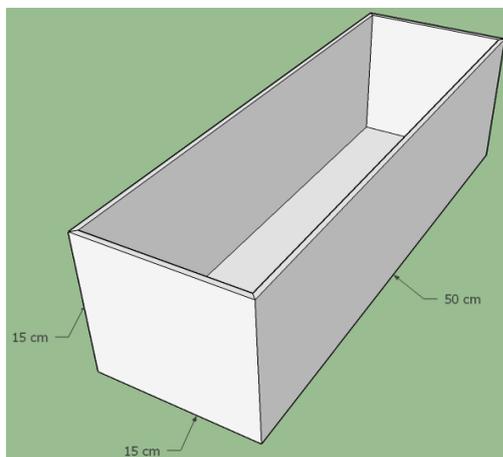
Tabela 4 - Caracterização dos corpos de prova

Tipo	Geometria	Compósito	Dimensão (cm*cm*cm)	Quantidade (und)	Descrição
1	Cilíndrico	Concreto convencional	10*20	2	Homogêneo
2	Cilíndrico	Argamassa têxtil	10*20	2	Homogêneo
3	Prismático	Concreto armado	15*15*50	2	4 Φ 10,0 mm (primária) e 3 Φ 10,0 mm (secundária)
4	Prismático	Concreto armado	15*15*50	2	6 Φ 10,0 mm
5	Prismático	Concreto têxtil	15*4*50	2	3 camadas têxtil na longitudinal com cobertura de 1 cm
6	Prismático	Concreto têxtil	15*5*50	2	4 camadas têxtil na longitudinal com cobertura de 1 cm

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

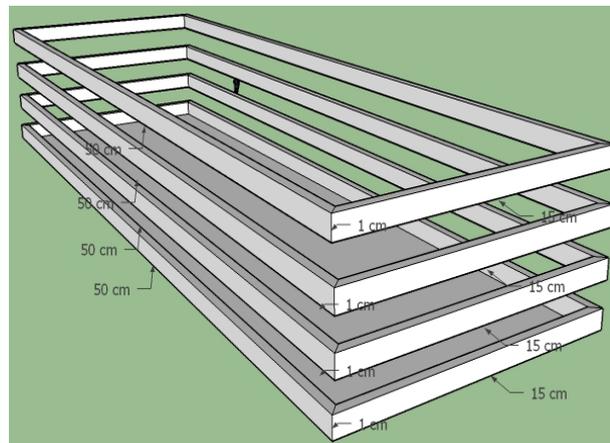
Os moldes para a confecção dos corpos de prova prismáticos foram fabricados sob medida em marcenaria para evitar erro na forma, segue na figura 10 e 11 os protótipos dos moldes.

Figura 10- CP prismático - concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 11 - CP prismático - concreto têxtil



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.2.5 Coleta de dados

Após a realização do ensaio regido pela NBR 7215/96 de compressão em ambos o concreto convencional e argamassa utilizada no concreto têxtil, fez-se o ensaio de tração na flexão regido pela NBR 7222/94 nos corpos de prova

prismáticos, a fim de avaliar a resistência à tração e aferir a dimensão da flecha gerada em cada um dos protótipos.

A análise econômica foi regida pela NBR 12721/06, realizando o levantamento de custos de cada material e insumo, levando-se em consideração o comparativo de dimensionamento do concreto armado com o concreto têxtil feito por Morassutti (2016). O comparativo de custos será produzido com base no SINAPI e no sistema de preços Alemão.

3.2.6 Tabulação e comparativo dos dados

Realizou-se a análise dos dados através da tabulação de todas as informações adquiridas na coleta de dados e foi realizado o comparativo desses informes entre si e com as normas vigentes, sendo a NBR 6118/14 e ABZ Z-31,10- 182 a fim de se prostar dentro dos parâmetros normativos e fazer a devida avaliação quanto a substituição do concreto armado pelo concreto têxtil.

3.3 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Os procedimentos executivos que abordam as propriedades físicas e mecânicas dos insumos envolvidos no estudo, foram realizados no laboratório de materiais de construção do Centro Universitário Luterano de Palmas, com exceção do ensaio de tração na flexão de corpo de prova prismático que fora ensaiado no laboratório de estruturas da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

3.4 OBJETO DE ESTUDO

Fonseca (2002) diz que no estudo de caso caracteriza-se pelo estudo de algo bem definido, visando se aprofundar em como e porque uma determinada situação ocorre e procura estudar o que há nela de mais essencial e característico. O realizador da pesquisa não pode intervir sobre o objeto do estudo, apenas revela-lo como ele é.

Como amostra, foi selecionado a malha de reforço têxtil composta por fibra de carbono e amarrada com vibra de vidro álcali-resistente. Ambos os compósitos apresentaram as maiores resistência e custo benefício no estudo realizado por Hegger (2006). Em Contraste com ambos os compósitos foram estudados também o concreto

com reforço de aço conhecido como concreto armado, avaliando-se suas características mecânicas como tração e compressão.

3.5 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

O instrumento de coleta de dados utilizado neste estudo foi citado no item 3.2.2 onde são dispostas as características dos corpos de prova que serão analisados no estudo. Os dois primeiros tipos são corpos de prova cilíndricos constituídos de concreto convencional com dimensões 10 x 20 cm e argamassa de CP de mesma dimensão, sendo submetidos ao ensaio de compressão regido pela NBR 5739/07. Os outros dois protótipos são prismáticos, constituídos de concreto armado com dimensões 50 x 15 x 15 cm, e concreto têxtil com reforço de fibra de carbono de dimensões 50 x 15 x 5 cm. Os dois protótipos foram submetidos ao ensaio de tração regido pela NBR 9607/86.

Para a análise do fator econômico, foi utilizado o SINAPI para pesquisa de valores no estado do Tocantins e a malha têxtil na Alemanha por meio de pesquisa de mercado, a fim de avaliar e contrastar os preços dos insumos e realizar a comparação entre os protótipos. Para maior fidedignidade da pesquisa, os parâmetros dimensionais utilizados foram baseados no redimensionamento das lajes maciças utilizadas no trabalho de Giongo (2007), levando também em consideração, os parâmetros determinados por Morassutti (2016).

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS INSUMOS E MOLDAGEM DOS CPs

Para a dosagem do traço tanto de concreto quanto de argamassa, foram realizados os ensaios de caracterização dos insumos que compunham a matriz das peças, sendo eles descritos no item 3.2.1 desta pesquisa. Na tabela 5, são expostos os resultados dos estudos desses materiais. Devido ao traço referência de Hegger (2006) especificar a granulometria mínima e máxima dos agregados gráudo e miúdo, fez-se necessária o peneiramento desses materiais, dividindo-os em areia fina (material passante na peneira 1,18 mm), areia grossa (retida na peneira 2,4 mm) e brita 0 (peneiras de 4,8 a 9,5 mm).

Tabela 5 - Caracterização física dos insumos

Insumo	Mod. Finura	Finura cimento (%)	Massa esp. (kg/m ³)	Massa unit. (kg/m ³)	Umidade (%)	Material pulv (%)	Torrão de argila (g)
Ag. Miúdo	1,89	-	2650	1485	2,60%	2,10%	0,30%
Ag. Graúdo	6,42	-	2562	1337	1,60%		
Cimento CP-II	7,20%	11%	3100	1432	-		

Fonte: elaborado pelo autor

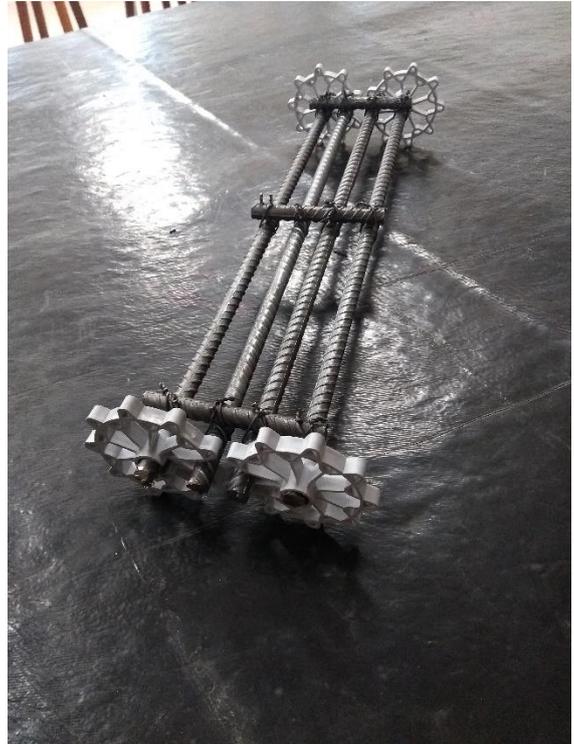
Após serem realizados todos os ensaios de caracterização dos insumos empregados às matrizes aglomerantes, observou-se que todos os materiais se mantiveram dentro dos parâmetros utilizáveis já estipulados por norma, assim, é possível efetuar a dosagem do concreto e da argamassa têxtil em laboratório com os traços definidos nas figuras 12 e 13.

Figura 12 - Confeção do CP de Concreto têxtil



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 – Armação do CP de concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 14 demonstra o ensaio de resistência a tração na flexão simples por prensa de 2 pontos corpo de prova de concreto armado:

Figura 14 - Ensaio de flexão em CP de concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 15 demonstra o ensaio de resistência a tração na flexão simples por prensa de 2 pontos no corpo de prova de concreto têxtil:

Figura 15 - Ensaio de flexão em CP de concreto têxtil em prensa de dois pontos



Fonte: Elaborado pelo autor

A descrição e detalhamento da moldagem dos corpos de prova de ambos os protótipos se encontram no item 3.2.4 deste estudo.

4.2 TRAÇO DA MATRIZ

Como as matrizes foram readequadas para a realidade brasileira, foi utilizado o método de dosagem ABCP, levando em consideração as características físicas dos insumos cujos resultados encontram-se no item 4.1.

Após consultar a NBR 6118:2014, foi constatado que o fator água/cimento mínimo para dosagem de concreto utilizado em estruturas em que a classe de agressividade ambiental se encontra em II (moderado), seria menor ou igual (\leq) 60 com resistência de mínima de 25 Mpa. A dosagem do superplastificante tipo I foi realizada de forma empírica. O Slump do concreto têxtil se situou em 790 mm e do concreto convencional em 680 mm, ambas as matrizes com leve exsudação.

A tabela 6 contém o traço de dosagem das matrizes, afim de servir para a confecção dos CPs:

Tabela 6 - Traço de dosagem das matrizes cimentícias

Matriz	Cimento (CP II)	silica (8%)	Areia média	Areia grossa (2,4 mm)	Brita (4,8 - 9,5 mm)	Fator A/C	Aditivo SP	Slump flow
Descrição	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)	(kg)
Concreto	1	0,06	3,04	-	3,28	0,5	1,20%	600
Concreto têxtil	1	0,08	2,5	0,7	-	0,48	1,40%	640

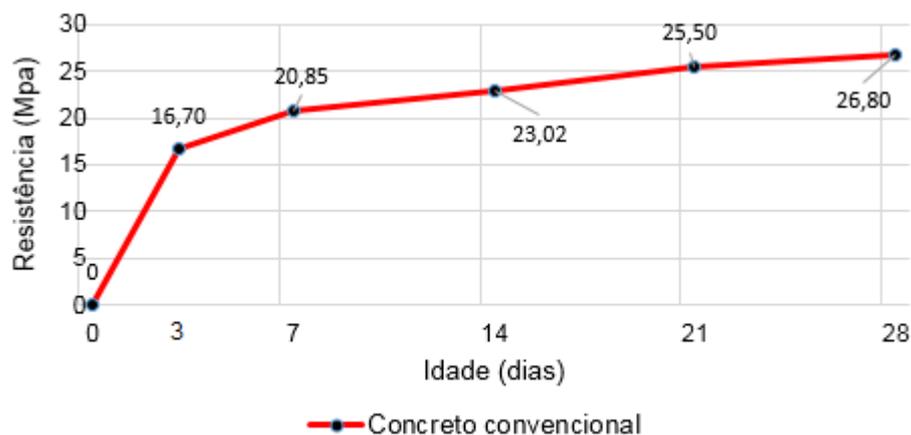
Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS

4.3.1 Concreto convencional

O ensaio de resistência a compressão axial no corpo de prova cilíndrico de dimensões 10x20 cm de ambos os compósitos, foi realizado no laboratório de matérias do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). Segundo a NBR 5739/1994 que rege o ensaio de compressão no concreto em corpos de prova cilíndricos, foram estabelecidos 2 CP's para cada dia de rompimento, sendo eles aos 3, 7, 14, 21 e 28 dias. O gráfico 1 foi traçado na relação resistência/idade chegando a uma resistência de 26,8 Mpa aos 28 dias.

Gráfico 1- Progressão da resistência a compressão axial do concreto



Fonte: Elaborado pelo autor

A ruptura de uma viga por efeito da força cortante é frequentemente violenta e frágil, devendo sempre ser evitada, o que se obtém fazendo a resistência da viga à força cortante superior à sua resistência à flexão. A armadura de flexão deve ser proporcionada de tal modo que, se vier a ocorrer a ruptura, deve ser por flexão, de modo que se desenvolva lenta e gradualmente, ou seja, é necessário garantir uma boa ductilidade, de forma que uma eventual ruína ocorra de forma suficientemente avisada, alertando os usuários (NBR 6118/2003, item 16.2.3).

Tabela 7 - Resistência a tração na flexão do CP de concreto armado

Classificação	Corpo de prova	Força (kgf)	Área (m ²)	Tensão (Mpa)	Tenacidade (N*m/m ²)	Fator tenacidade (Mpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Variação (%)
Armado 1 direção	CP 1	5587,0	0,075	0,7449	631,0	0,210	5407,5	253,9	1,17%
	CP 2	5228,0	0,075	0,6971	646,0	0,215			
Armado 2 direções	CP 3	5546,0	0,075	0,7395	930,0	0,310	5362,0	260,2	1,21%
	CP 4	5178,0	0,075	0,6904	690,0	0,230			

Fonte: elaborado pelo autor

A figura 15 mostra um corpo de prova de concreto armado em 2 direções onde ocorreu uma patologia caracterizada por uma fissura na diagonal e excêntrica. O CP por ser armado, na flexão não sofreu fissuração no meio, apenas a indicada pela seta vermelha devido a não existência de estribo no protótipo, fato que, não ocorreria em uma laje devido a suas dimensões, ocorreu no protótipo por ser de dimensão transversal 15 x 15 cm.

Figura 16 - Fissura em CP de concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor

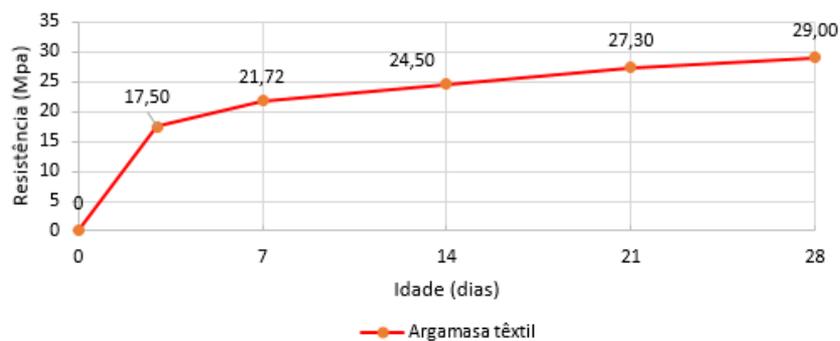
4.3.2 Concreto Têxtil

Segundo Morassutti (2016) as características mecânicas do concreto têxtil ainda são estudadas devido ser um material bastante recente. Há uma gama de conteúdo na literatura a respeito do desempenho deste compósito.

O ensaio regido pela NBR 5739/1994 foi feito com os CP's confeccionados com argamassa têxtil, sendo 2 corpos de prova para cada dia de rompimento, que obtiveram o resultado de resistência a compressão de 29 Mpa aos 28 dias.

O gráfico 2 mostra o crescimento da resistência a compressão axial do CP de CT.

Gráfico 2 - Progressão da resistência a compressão axial da argamassa têxtil



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Hegger et al. (2006) existe uma série de fatores que podem influenciar no desempenho do concreto têxtil, uma vez que, os mecanismos que giram em torno de suas falhas ainda não são compreendidos. Hegger também aponta em seu estudo algumas das possíveis causas das falhas no concreto têxtil que podem diminuir sua resistência a tração:

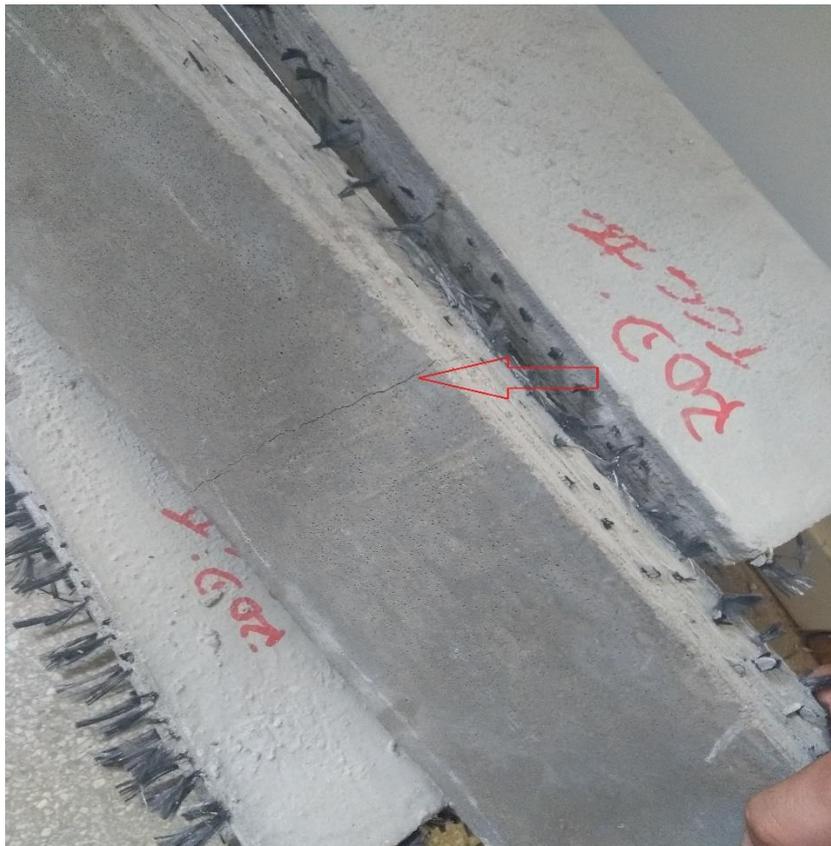
- a) imprecisão das propriedades das fibras (principalmente a resistência dos filamentos e diâmetro do filamento (ou carga máxima do filamento) em um certo ponto)
- b) dano dos filamentos durante as várias etapas da produção (fabricação dos têxteis, produção do compósito)
- c) propriedades da aderência entre filamento-filamento (dependente das impregnações, geometria dos fios, pressão de confinamento/transversal)
- d) propriedades da aderência entre fios-matriz (dependente das impregnações, composição da matriz, geometria dos fios, idade do compósito, histórico de carregamento)
- e) ajuste dos filamentos (dependendo da qualidade do fio, produção do tecido, tecnologia do concreto)
- f) orientação das fibras (ângulo entre as fibras e o carregamento)

Hegger et al., (2006) ressalta a importância da aderência da pasta com os fios do filamento, sendo que um fio pode ter um fator determinante na resistência do compósito. Na tabela 8, consta o resultado do ensaio de resistência a tração na flexão regido pela NBR 7222/11. Onde foram submetidos ao ensaio 3 corpos de prova com 3 camadas espaçadas a 1 cm e 2 corpos de prova com 4 camadas espaçadas também a 1 cm. Ressalta-se que houve uma diferença de aproximadamente 300 kgf na resistência ao passar de 3 para 4 camadas.

A figura 17 mostra uma fissura perpendicular a direção de maior resistência da malha de fibra de carbono, o que no concreto armado seria perpendicular a armadura longitudinal.

Tal patologia foi manifestada devido à força de flexão gerada no CP pela prensa de dois pontos. Nota-se que a fissura evidenciada pela seta vermelha se localiza exatamente no meio da peça.

Figura 17 - Fissura no CP de concreto têxtil



Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 8 mostra o laudo resultante do ensaio de resistência a tração na flexão.

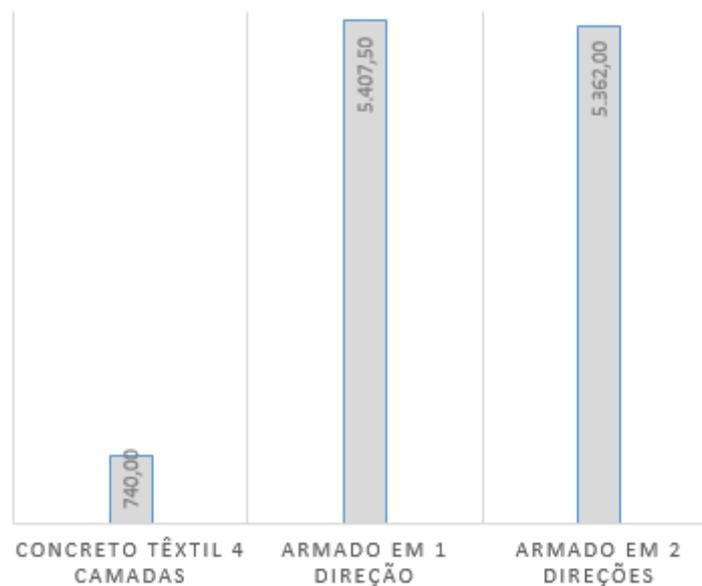
Tabela 8 - Resistência a tração na flexão do CP de concreto têxtil

nº de camadas	Corpo de prova	Força (kgf)	Área (m ²)	Tensão (Mpa)	Tenacidade de (N*m/m ²)	Fator tenacidade (Mpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Variação (%)
3 camadas	CP 1	478,0	0,075	0,0637	-	-	447,0	35,7	2,01%
	CP 2	408,0	0,075	0,0544	-	-			
	CP 3	455,0	0,075	0,0607	-	-			
4 camadas	CP 4	740,0	0,075	0,0987	-	-	740,0	0,0	0,00%
	CP 5	740,0	0,075	0,0987	-	-			

Fonte: elaborado pelo autor

No gráfico 3 é possível visualizar uma comparação de resistência a tração de ambos os compósitos.

Gráfico 3 - Comparativo de resistência a flexão



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Na tabela 9 abaixo, é possível verificar o valor de 1 m³ de concreto convencional aferido pelo SINAPI.

Tabela 9 - Planilha orçamentária m³ de concreto SINAPI

ORÇAMENTO - CONCRETO - 1 M ³ - SINAPI						
REFERÊNCIA	CODIGO	DESCRIÇÃO	UND	QTD	VALOR UNIT	TOTAL
SINAPI 11/2018	38405	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, FCK= 25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 130 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO	M3	1	380,39	380,39
SINAPI 11/2018	92787	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM		1	7,23	7,23
TOTAL						R\$ 387,62

Fonte: elaborado pelo autor

Com os resultados obtidos nas tabelas 2, 3 e 6, foi possível realizar o levantamento de custo para 1 m³ de concreto armado e concreto têxtil para cada laje referência constante na figura 9. Baseando-se na NBR 12721/2006 e no SINAPI referente ao mês 11/2018, têm-se o custo unitário do composto.

Na tabela 10 abaixo, é possível verificar o valor de 1 m³ de concreto têxtil aferido pelo SINAPI e tendo como base o projeto referência.

Tabela 10 – Planilha orçamentária de 1 m³ de concreto armado para laje referência

ORÇAMENTO - CONCRETO - (3,78*3,78*0,07) -> 1 M ³						
REFERÊNCIA	CODIGO	DESCRIÇÃO	UND	QTD	VALOR UNIT	TOTAL
SINAPI 11/2018	1379	Cimento CP II-32	kg	263,00	R\$ 0,54	R\$ 142,02
SINAPI 11/2018	4720	Brita 0	m ³	0,86	98,83	R\$ 85,19
SINAPI 11/2018	370	Areia	m ³	0,90	R\$ 67,50	R\$ 60,55
SINAPI 11/2018	13408	Aditivo Superplastificante	Lt	3,35	R\$ 10,08	R\$ 33,71
SINAPI 11/2018	26026	Silica Ativa	kg	15,78	R\$ 2,64	R\$ 41,66
SINAPI 11/2018	34	Aço CA-50 10 mm	kg	53,90	R\$ 5,04	R\$ 271,67
TOTAL						R\$ 634,80

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi utilizado o quantitativo de cada insumo baseando-se na tabela 6, onde consta o traço de concreto armado e concreto têxtil. Com as dimensões de 3,78 x 3,78 m de comprimento e largura, com altura de 0,07 m, é possível chegar a quantidade de 1 m³ de concreto armado para esta laje, resultando no valor de R\$ 634,80.

A tabela 11 demonstra o orçamento com base no projeto referência de 1 m³ de concreto têxtil.

Tabela 11 – Planilha orçamentária de 1 m³ de concreto têxtil para laje referência

ORÇAMENTO - ARGAMASSA TÊXIL - (4,0*4,0*0,05) -> 1 M ³						
REFERÊNCIA	CODIGO	DESCRIÇÃO	UND	QTD	VALOR UNIT	TOTAL
TUDALIT		Malha de fibra de carbono 25*25 mm	m	14,48	R\$ 66,89	R\$ 968,57
SINAPI 11/2018	1379	Cimento CP II-32	kg	273,19	R\$ 0,54	R\$ 147,52
SINAPI 11/2018	366	Areia fina	m ³	0,59	R\$ 60,00	R\$ 35,56
SINAPI 11/2018	367	Areia grossa	m ³	0,30	R\$ 70,00	R\$ 20,74
SINAPI 11/2018	13408	Aditivo Superplastificante	Lt	4,13	R\$ 10,08	R\$ 41,62
SINAPI 11/2018	26026	Sílica Ativa	kg	21,86	R\$ 2,64	R\$ 57,70
TOTAL						R\$ 1.271,72

Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda com base na tabela 6 e utilizando as dimensões de 4,0 x 4,0 m de comprimento e largura, com altura de 0,05 m, é possível chegar a quantidade de 1 m³ de concreto têxtil para esta laje, resultando no valor de R\$ 1271,72.

É axiomático a discrepância entre os custos de ambos os compósitos quando levado em consideração a singularidade de cada valor, porém, vale ressaltar que, o Aço CA-50 é produzido e encontrado em larga escala no Brasil, mas não existe, até a presente a data de realização deste estudo, um fornecedor de malha de fibra de carbono nacional, logo, faz-se necessária a importação do mesmo, resultando em um acréscimo tributário e de transporte do material.

Ao olhar apenas para a matriz cimentícia, houve uma redução no valor e uso do concreto de 16,52%, o que, à primeira vista, contraria a hipótese de redução de 66% do volume de matriz afirmada por Morassutti (2016). Porém, é imprescindível evidenciar a afirmação de Hegger et al. (2006), de que a aderência pasta – malha é crucial para a resistência final da peça, o que resulta em uma interferência direta com o volume e por ipso-facto, o custo final.

5 CONCLUSÃO

A resistência a compressão de ambas as matrizes, concreto com 26,8 Mpa e argamassa com 29 Mpa aos 28 dias, atingiram a resistência mínima estipulada em cálculo que seria de 25 Mpa.

No teste de resistência a tração na flexão, o concreto armado em 1 direção rompeu-se com uma tensão de 0,721 Mpa e o CP de concreto armado em 2 direções rompeu-se com uma tensão de 0,715 Mpa. Superando em 7 vezes a solicitação de cálculo de todas as lajes referência. Os corpos de prova do concreto têxtil, com 4 camadas, romperam-se com uma tensão de 0,0987 Mpa, resistindo a uma solicitação de 740 Kgf, carga superior a utilizada no dimensionamento do projeto referência que seria de 680 Kgf para as lajes 1, 3 e 4, excluindo-se apenas a laje 2 que, por possuir alvenaria, tem uma solicitação de 871 Kgf, porém, utilizando-se uma regressão exponencial nas tensões suportadas pelo concreto têxtil, é possível afirmar que um CP constituído de 5 camadas, teria capacidade suficiente para suportar a solicitação gerada na laje 2.

As investigações atuais mostraram que a malha de multifilamento utilizada como reforço no concreto têxtil não atingiu sua capacidade teórica em relação à rigidez e capacidade de carga. É geralmente aceito, que a razão para tal fenômeno seja a complexidade com o comportamento da aderência entre a malha e a matriz aglomerante.

Os levantamentos quantitativos e de custo total de cada compósito, mostraram valores bastante discrepantes para uma comparação, O concreto têxtil se mostrou aproximadamente o dobro do custo do concreto armado, fator que pode ser explicado devido a não existência de um fornecedor nacional do material estudado, fazendo assim, necessário a importação e arco com os custos inerentes a ela. Ao removermos os reforços dos orçamentos, obtemos uma redução significativa no volume da matriz aglomerante de 16,52% para cada metro cúbico.

A NBR 6118/2014 estabelece dimensões mínimas de cobrimento nas peças de concreto armado de acordo com a classe de agressividade ambiental em que a estrutura se encontra, como já relatado neste estudo, tal cobrimento se faz necessário devido ao leque de agentes agressivos ao aço, item que, se for corroído a ponto de perder sua resistência de serviço, a estrutura vem a colapso. Com base neste fato, o uso do concreto têxtil está chegando a larga escala no continente Europeu e suas

pesquisas partem de todo o mundo, uma vez que, para tal compósito, não existem agentes agressivos conhecidos que se propaguem pela argamassa resultando numa possível perda de resistência, elevando, segundo Hegger et al. (2006), sua durabilidade em 4 vezes, já que, as estruturas em concreto armado no Brasil possuem durabilidade de projeto de 50 anos, baseando-se no tempo que em condições ideais, levaria para qualquer patologia se desenvolver numa estrutura.

Devido a algumas limitações deste estudo, fica a sugestão para pesquisas futuras:

- Utilização do concreto têxtil em pilares;
- Utilização do concreto têxtil em vigas;
- Utilização do concreto têxtil em lajes em balanço;
- Como pode ser aplicado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, p. 5, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **N° 5739**: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 1994. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 2003. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 2006. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7211**: Agregado para concreto. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7222**: Da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 1994. 3 p.

BATTAGIN, A. F. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Uma breve história do cimento Portland**. 2016. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>>. Acesso em: 06 set. 2018.

BRAMESHUBER, W.; BROCKMANN, T. **Textile Reinforced Concrete (TRC) - Durability Aspects of Fine Grained Binder Systems**. 2003.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Oswaldemar. **Concreto Armado em tempo**. Rio de Janeiro - RJ: Edgard Blucher Ltda, 2004. 422 p.

COHEN, Z.; PELED, A.; PASDER, Y.; ROYE, A.; GRIES, T. **Effects of warp knitted fabrics made from multifilament in cement-based composites**. First International RILEM Symposium on Textile Reinforced Concrete, n. c, p. 23–32, 2006.

DAL MOLIN, D.C.C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

DENARDI, A. **Concreto têxtil**: Uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimentos, aplicações e perspectivas de estudos e empregos no Brasil. 2016. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

EFNARC - European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. In: EFNARC. Fevereiro 2002.

FREITAS, José de Almendra. **Materiais de construção**. Paraná: Ministério da Educação, p. 35, 2013.

FRIZZO, Benildo Tocchetto. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio e na absorção capilar do concreto**. 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2001.

GAYATHRI, C.N.; SINGH, R. B.; DHANALAKSHMI, G. Mechanical behaviour of textile reinforced concrete. **International research journal of engineering and technology**, oxford, v. 5, p.2227-2231, 2018.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado**: Projeto estrutural de edifícios. 2007.

184 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia e Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural: Tópicos aplicados**. São Paulo: Copyright Editora Pini Ltda, p. 11-20, 2008.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2009.

GÓMES, J.F; MAESTRO, M.B. **Guia práctica para la utilización dei hormigón autocompactante**. Instituto Espanol dei cemento y sus aplicaciones. Madrid, 2005.

GONÇALVES, C. M. M. **Influência da adição de fibras curtas de aço e de nylon no comportamento e na resistência ao esforço cortante em vigas de concreto armado**. 2003. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia Programa de pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Belo Horizonte, 2003.

HÄUSSLER-COMBE, U.; JESSE, F.; CURBACH, M. **Textile reinforced concrete**: Overview, experimental and theoretical investigations. 2016. 8 f. TCC (Graduação) - Curso de Civil Engineering, Department Of Civil Engineering, Dresden University Of Technology, Germany, 2016.

HEGGER, J.; WILL, N.; MAIKE, C. Tragverhalten von Textilbeton unter Biege- und Querkraftbeanspruchung. In: Colloquium on textile reinforced structures. **Comportamento do concreto têxtil sob flexão e de carga de cisalhamento**. Dresden: Colloquium, p. 145-156, 2016.

HEGGER, J.; WILL, N.; BENTUR, A.; CURBACH, M.; JESSE, F.; MOBASHER, B.; PELED, A.; WASTIELS, J. Mechanical behaviour of textile reinforced concrete. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: **Textile Reinforced Concrete**, p. 133–183, 2006.

HEGGER, J. et al. **Mechanical behaviour of textile reinforced concrete**. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: Textile Reinforced

Concrete, p. 133–183, 2006.

HEGGER, J. et al. **Textilbewehrter Beton**. v. 102, p. 362–370, 2007.

HEGGER, J. et al. **TRC Pedestrian Bridge-Design, Load-bearing Behavior and Production Processes of a Slender and Light-weight Construction**. International RILEM Conference on Material Science, v. I, p. 353–364, 2010.

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

HELENE, Paulo e ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais** – Volume 2. São Paulo: Ibracon, 2007.

JÚNIOR, T, F, S. **Estruturas de concreto armado**: Notas de Aula. 2016. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

KOCH, A.; KERSCHL, C.; GRIES, T.; BRAMESHUBER, W. **Locally adapted biaxial warp knitted textiles as reinforcement of folded concrete elements**. (W. Brameshuber, Ed.) In: FERRO-11 – 11th International Symposium on Ferrocement and 3rd ICTRC - International Conference on Textile Reinforced Concrete, RILEM Publications SARL, 2015.

KULAS, C.; GMBH, S. **Actual applications and potential of textile-reinforced concrete**. In: GRCA CONGRESS, 2015.

LAUXEN, F. A.; FILHO, L. C. P. S. **Desenvolvimento e Análise de Características de Desempenho de Elementos de Concreto Têxtil**. 2017. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Finova, 2017.

MALHOTRA, V.M; MEHTA, P.K. **Pozzolanic and cementitious materials**. Advances in concrete technology. Volume 1, Canadá, 1996.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras**: Dicas para orçamentistas - Estudos de caso. São Paulo: Pini, 2006.

MEHTA, P. Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura,**

propriedades e materiais. 3ª edição. São Paulo: IBRACON, 2008.

MORASSUTTI, D. S. **Passarela em concreto armado e concreto têxtil**: comparativo entre metodologias de dimensionamento. 216. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

NAAMAN, A. E. **Textile reinforced cement composites: competitive status and research directions**. v. 1, p. 3–22, 2010a.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. 2ª Ed. São Paulo: PINI, 1997.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete**. In: Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, p. 5-15, 2003.

PANDEY, S.P. The influence of mineral additives on the strength and porosity of OPC mortar, **Cement and Concrete Research**. Science Direct, n.30, p.19–23, 2000.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland** – 14ª edição. São Paulo: Globo, 2005.

SÁNCHEZ, E.; MORAGUES, A.; MASSANA, J.; GUERRERO, A.; FERNANDEZ, J. Effect of pig slurry on two cement mortars: Changes in strength, porosity and crystalline phases. **Cement and Concrete Research**. Science Direct, n.39, p. 798-804, 2009.

SCHEERER, S.; SCHLADITZ, F.; CURBACH, M. **Textile reinforced concrete – from the idea to a high performance material**. p. 15–34, 2015.

REGIERUNG, Albstadt. **Leuchtturmprojekt: Textilbetonbrücke Lautlingen**. 2011. Disponível em: <<http://www.albstadt.de/Leuchtturmprojekt:-Textilbetonbr%C3%BCcke>>. Acesso em: 01 out. 2018.

RODRIGUES, W. Federação das Indústrias Estado do Tocantins. **Estimativa do PIB industrial do estado do Tocantins**. Palmas: Unidade de Desenvolvimento Industrial, p. 6, 2016.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

TUDALIT. **Reforçado com têxtil betão de acordo com ABZ Z-31,10-182**: um Guia para arquitetos do plano e engenheiros, para empresas de design e para os construtores Construção. Dresden: Kerstin Schön, 2016. 92 p.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; MOLIN, Denise Carpena dal. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: Pini, p. 33-34, 2008.

WIEG, Christian. **Brücke aus Textilbeton quert die Rottach in Kempten**. 2007. Disponível em: <<https://www.bauingenieur24.de/fachbeitraege/massivbau/bruecke-aus-textilbeton-quert-die-rottach-in-kempten/1892.htm>>. Acesso em: 01 out. 2018.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**. 10. ed. São Paulo: Pini, 1997. 772 p.

