

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDRE LUCAS BISPO DA PAZ

THALES ALVES MOREIRA

**ESTUDO QUALITATIVO DO GANHO DE RESISTÊNCIA DA
APLICAÇÃO DE TECIDO DE FIBRAS DE VIDRO EM VIGAS
DE CONCRETO SIMPLES COMO TÉCNICA DE REFORÇO
ESTRUTURAL**

ANÁPOLIS / GO

2018

**ANDRE LUCAS BISPO DA PAZ
THALES ALVES MOREIRA**

**ESTUDO QUALITATIVO DO GANHO DE RESISTÊNCIA DA
APLICAÇÃO DE TECIDO DE FIBRAS DE VIDRO EM VIGAS
DE CONCRETO SIMPLES COMO TÉCNICA DE REFORÇO
ESTRUTURAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA GODOI
QUARESMA**

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

BISPO DA PAZ, ANDRÉ LUCAS/ MOREIRA, THALES ALVES

Estudo Qualitativo do ganho de resistência da aplicação de tecido de fibras de vidro em vigas de concreto simples com técnica de reforço estrutural

57P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto armado

2. Reforço estrutural

3. Fibra de vidro

4. Compressão axial

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BISPO DA PAZ, André Lucas. MOREIRA, Thales Alves. Estudo Qualitativo do ganho de resistência da aplicação de tecido de fibras de vidro em vigas de concreto simples como técnica de reforço estrutural. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 57p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: André Lucas Bispo da Paz

Thales Alves Moreira

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo Qualitativo do Ganho de Resistência da Aplicação de Tecido de Fibras de Vidro em Vigas de Concreto Simples como Técnica de Reforço Estrutural

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Thales Alves Moreira

Thales Alves Moreira

E-mail: thalesalvesm@gmail.com

André Lucas Bispo da Paz

André Lucas Bispo da Paz

E-mail: andre-lbp@hotmail.com

ANDRÉ LUCAS BISPO DA PAZ

THALES ALVES MOREIRA

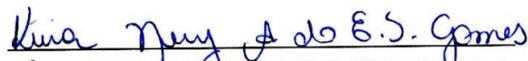
**ESTUDO QUALITATIVO DO GANHO DE RESISTÊNCIA
COM A APLICAÇÃO DO TECIDO DE FIBRA DE VIDRO
COMO TÉCNICA DE REFORÇO ESTRUTURAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:



**WANESSA MESQUITA GÓOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**



**KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**PAULA LOPES SANTOS, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 de NOVEMBRO de 2018.

RESUMO

Com a evolução da construção civil, o concreto armado se tornou uma das técnicas mais importantes para o ramo, visto que sua aplicação compreende um enorme leque de possibilidades. Entretanto os elementos que o compõe, são passíveis de patologias de diversas origens, variando desde as propriedades físicas a possíveis falhas na execução. A partir disto se mostrou importante o estudo de tecnologias de reparação e reforço de estruturas, quando as patologias se tornarem ameaças para a segurança dessas. O tecido de fibra de vidro, já é utilizado em uma área diversa da construção civil, e veio como um possível material a ser utilizado na área de reforço de estruturas devido seu baixo custo, como uma medida de desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de reforço estrutural. Entretanto, essa técnica ainda não é muito conhecida no Brasil, pois além de ser nova no mercado, há pouco material didático a disposição na língua portuguesa. Portanto o objetivo do estudo deste material é analisar as principais características estruturais da aplicação dos compósitos de fibra de vidro como reforço de vigas de concreto. A partir disto, foi estudado a literatura disponível acerca do tema e explanou-se sobre as vantagens e as desvantagens da aplicação deste método em relação aos já normalmente utilizados. A etapa seguinte foi o processo experimental, no qual foi calculado um traço de concreto convencional de acordo as propriedades conhecidas com testes laboratoriais de cada elemento do traço, posteriormente foi moldado corpos de prova prismáticos, sendo metade reforçados e, em seguida, rompeu-se todos eles. O que nos possibilitou analisar o aumento de carga resistente à tração na flexão do corpo de prova de concreto reforçado em relação ao não reforçado. Com os resultados adquiridos analisou-se as vantagens e desvantagens observadas com este experimento.

PALAVRAS-CHAVE:

Concreto armado. Reforço estrutural. Fibra de vidro. Reforço de vigas.

ABSTRACT

With the evolution of civil construction, reinforced concrete has become one of the most important techniques for the industry, since its application comprises a wide range of possibilities. However the elements that compose it, are susceptible of pathologies of diverse origins, varying from physical properties to possible execution failures. From this, it was important to study the technologies of repair and reinforcement of structures, when the pathologies become threats to their safety. The fiberglass fabric is already used in a diverse area of civil construction, and came as a possible material to be used in the area of reinforcement of structures, as a measure of development and improvement of structural strengthening techniques. However, this technique is still not well known in Brazil, because besides being new in the market, there is little didactic material available in the Portuguese language. Therefore the objective of the study of this material is to analyze the main structural characteristics of the application of fiberglass composites as reinforcement of concrete beams. From this, we have studied the available literature on the subject and explored the advantages and disadvantages of applying this method in relation to those already used. The next step was the experimental procedure, in which a conventional concrete trace was calculated according to known properties with laboratory tests of each element of the trace, then primitive specimens were molded, half reinforced and then fractured all of them. This allowed us to analyze the tensile strength increase in flexural strength of reinforced concrete in relation to the reinforced concrete. With the acquired results the advantages and disadvantages observed with this experiment were analyzed.

KEY WORDS:

Reinforced concrete. Structural reinforcement. Fiberglass. Reinforcement of beams.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Laboratório Centro Tecnológico da Unievangélica.....	30
Figura 2 - Processo de determinação de massa específica de agregado miúdo através do picnômetro.....	33
Figura 3 - Processo de determinação de massa específica de agregado graúdo através da balança hidrostática.	34
Figura 4 - Determinação de Massa Unitária dos agregados graúdo e miúdo.....	35
Figura 5 - Peso retido no fundo das peneiras.	36
Figura 6 - Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado.	38
Figura 7 - Catalisador e Resina.....	40
Figura 8 - Aplicação no corpo de Prova.	40
Figura 9 - Finalização Corpo de Prova.	41
Figura 10 - Posição do corpo de prova no aparelho.	42
Figura 11 - Corpo de prova prismático após a ruptura.	44
Figura 12 - Detalhe da fibra após a ruptura.	44
Figura 13 - Gráfico comparativo da carga de ruptura nos corpos prismáticos.....	45

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Características da fibra de vidro.	26
Tabela 2: Tipos de fibra de vidro para reforço.	26
Tabela 3: Coeficientes de dilatação das fibras de vidro.	27
Tabela 4: Valores de resistência à tração do sistema de reforço com 1mm de espessura.	27
Tabela 5: Tensão de ruptura e peso específico de material compósito de fibra de vidro.	28
Tabela 6: Quantidade de corpos de prova.	31
Tabela 7: Massa específica dos agregados.	34
Tabela 8: Massa unitária dos agregados.	35
Tabela 9: Comparativo da Carga de Ruptura.	43

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
FIB	Fédération Internationale du Béton
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
CFC	Compósito de Fibra de Carbono
PRFV	Polímero Reforçado com Fibra de Vidro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 METODOLOGIA	12
2 CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
2.1 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO	13
2.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	14
2.3 ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS	14
2.4 DESEMPENHO.....	15
2.5 VIDA ÚTIL E DURABILIDADE.....	16
2.6 O CONCEITO DE MANUTENÇÃO.....	17
2.7 SINTOMATOLOGIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	17
2.7.1 Requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014	18
2.7.2 Patologias geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto).....	18
2.7.3 Patologias geradas na etapa de execução da estrutura (construção).....	19
2.7.4 Patologias geradas na etapa de utilização da estrutura (manutenção)	21
2.8 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL	22
2.9 REFORÇOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	22
2.9.1 Encamisamento.....	23
2.9.2 Protensão externa	23
2.9.3 Reforço com chapas e com perfis metálicos	24
2.9.4 Reforços com fibras.....	24
2.9.5 Reforço com fibra de Vidro.....	25
2.9.5.1 Definição.....	25
2.9.5.2 Propriedades das Fibras de Vidros.....	27
2.9.5.3 Comportamento a agentes químicos	28
2.9.5.4 Resistência ao fogo nos sistemas compostos	28
2.9.5.5 Efeito da água salgada e alcalinidade no sistema composto.....	28
2.9.5.6 Execução dos sistemas compostos estruturados com fibras de vidro.....	28
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	30

3.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	31
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	32
3.2.1	Massa específica dos agregados.....	32
3.2.2	Massa unitária dos agregados	34
3.2.3	Determinação da composição granulométrica.....	36
3.2.4	Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	37
3.3	ESCRITA DO TRAÇO	38
3.4	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS	39
3.5	REFORÇO COM O TECIDO DE FIBRA DE VIDRO	39
3.6	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CONCRETO.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1	ANÁLISE VISUAL E OPERACIONAL	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
5.1	RECOMENDAÇÕES	47

ANEXO A – Ensaio de compressão dos corpos de prova prismáticos.	56
ANEXO B – Ensaio de compressão dos corpos de prova prismáticos reforçados.	57
APÊNDICE A – Cálculo do traço do concreto pelo método da ABCP	51
APÊNDICE B – Cálculo detalhado do traço do concreto de 25 MPa pelo método da ABCP	54

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade, a conquista por novos territórios levou a necessidade de aprimoramentos de técnicas para construções eficazes para sua proteção, logo as cavernas, progrediram e a busca por materiais e técnicas construtivas cada vez mais eficientes continua ao longo dos anos. Hoje, os materiais mais utilizados na construção civil em âmbito mundial é o concreto e a água. Podemos encontrá-los em todas as edificações e construções desde casas, rodovias, pontes, edifícios etc. Pensando em concreto, apesar de muito estudo envolvendo o material ainda o processo de projeto, execução e cura podem ocasionar as patologias e comprometer sua estrutura (MATEUS, 2004; AZEVEDO, 2011).

As patologias, como já dito, podem ocorrer devido erros no projeto e na execução, como também de fatores ambientais e químicos, como agentes corrosivos e a ação do tempo, pois, como sabemos, cada estrutura possui uma vida útil, todos esses fatores devem ser levados em consideração para garantir a segurança da sua estrutura, necessitando de medidas eficazes de combate a essas patologias (AZEVEDO, 2011).

Devido a estes motivos, o reforço de estruturas de concreto armado se torna uma excelente alternativa, e novas técnicas tem sido cada vez mais estudada para trazer outras opções de recuperação da estrutura e que não seja necessária a demolição da edificação.

Há muitos métodos para reforço estrutural, mas é preciso se atentar ao custo do material, desempenho, trabalhabilidade e durabilidade desse reforço, para melhor tomada de decisão.

Uma técnica mais limpa, esbelta e com bons resultados comprovados é reforço com compósito de fibra de carbono, porém, apesar das inúmeras vantagens é uma técnica de custo elevado. Logo, uma saída atraente é utilizar fibras mais econômicas, como por exemplo fibra de vidro.

Os materiais compósitos de PRFV (Polímero Reforçado com Fibra de Vidro) são constituídos, basicamente, de resina poliéster e de finíssimos filamentos de vidro que não são rígidos e são altamente flexíveis. A fibra de vidro para reforço é utilizada em reservatórios, pode ser encontrada de duas formas, uma em forma de manta e outra em forma de tecido (FIORELLI, 2002).

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, as pesquisas sobre materiais compósitos de fibras de vidro estão bem no início, possuindo uma deficiência de conteúdo, sobre as características do material e seu desempenho, além de não existir nenhuma norma que regulamenta o uso desse material.

No entanto, em outros países já utilizam com mais frequência esse reforço estrutural, contando com algumas normas internacionais como a ACI 440 2R:02 (2008), para se projetar e executar o reforço com fibra de vidro.

Possuindo um bom comportamento físico e mecânico e um baixo custo de aplicação além da facilidade na aplicação desse reforço. Justificando assim, a necessidade em desenvolver estudos que apresentam o comportamento desse material como reforço estrutural.

Considerando que a fibra de vidro é mais fácil de ser adquirida na região de Anápolis e por um menor preço em relação a fibra de carbono, esse material viabiliza o reforço estrutural a menor custo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Objetiva-se estudar de forma qualitativa as propriedades mecânicas dos compósitos de fibra de vidro para fins de reforço estrutural. Com ênfase na aplicação e resultados experimentais dos compósitos de fibra de vidro em peças submetidas a flexão.

1.2.2 Objetivos específicos

- Abordar a importância do reforço estrutural, descrevendo as principais técnicas utilizadas e ressaltando as estudadas neste trabalho, possibilitando ao leitor uma visão mais ampla e clara do tema dentro da engenharia civil e sociedade;
- Montar um plano experimental qualitativo com corpos de prova de concreto simples na forma prismática, com camadas de reforço com tecido de fibra de vidro, submetidos à flexão;
- Analisar e comparar os resultados obtidos associando a utilização da técnica em estruturas.

1.3 METODOLOGIA

Visando atingir os objetivos propostos, foi desenvolvido um programa experimental qualitativo com fins de comparação, para o entendimento da técnica de reforço com tecido de fibra de vidro. Desta forma, os ensaios com os corpos de prova foram feitos de acordo com a norma NBR 12142:2010. Utilizando uma camada de compósitos de fibra de vidro e estudando os seus comportamentos e características, do concreto com e sem o reforço com o tecido.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Levando em consideração que as estruturas de concreto armado são feitas usando elementos conseguidos da extração de recursos naturais, com significativo gasto de energia para a modificação e emprego desses recursos, a diminuição da ocorrência de fenômenos patológicos nas estruturas pode ajudar para reduzir danos e retrabalho no segmento da construção civil (AZEVEDO, 2011).

A NBR 6118 (2014) em seu item 3.1.3 define concreto armado como,

Aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

2.1 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO

O aumento populacional do planeta e particularmente um aumento progressivo em áreas urbanas, teve como fruto altos investimentos em obras tanto de infraestrutura como em construções habitacionais e comerciais, que ocorreu de forma global, isto é, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. A fábrica de produção de materiais, por sua vez, procurou progredir, e oferecer para o mercado, mercadorias e ferramentas com atributos e especialidades mais apropriadas a essa atual realidade (AZEVEDO, 2011).

Segundo Azevedo (2011), apesar de todo esse progresso, irregularidades associadas com o desempenho estrutural e sua relação com os demais sistemas integrantes de uma construção, reação entre elementos do concreto e a atuação de agentes exteriores, têm sido reparados com importante constância e grande intensidade. Em geral, os sinistros que se apresentam nas estruturas de concreto demonstram sinais de desempenho desarmônico de integrantes do sistema, tendo que ser corretamente analisados e devidamente reparados para que não chegue a afetar os níveis de imobilidade e segurança do componente comprometido ou até da edificação. Essa espécie de dano ou imperfeição descreve o que denominamos de manifestação patológica e é instrumento da ciência identificada como PATOLOGIA.

2.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A patologia é uma ciência historicamente utilizada na medicina e em equivalência com as estruturas de concreto, as enfermidades equivalem a sinistros ou defeitos que definem o comportamento indevido de um componente estrutural ou da estrutura completa. O termo PATOLOGIA na engenharia, especialmente no caso das estruturas de concreto, tem início na abordagem dos problemas com a essência de recuperar as estruturas, o que equivale a um processo terapêutico na medicina (AZEVEDO, 2011).

A patologia compreende ao estudo dos sinais apresentados pelas imperfeições que se apresentam na estrutura, busca a sua origem e os possíveis motivos e procedimentos de funcionamento dos fatores incluídos na questão, determinando o que se chama de reconhecimento da patologia. A começar desse reconhecimento e tendo em consideração uma sequência de imposições técnicas e econômicas, decide-se o método corretivo apontado como mais correto para resolver o problema, período batizado de terapia (BASTOS, 2006; AZEVEDO, 2011).

O conhecimento sobre as patologias de estruturas de concreto apropria-se de grande relevância na medida em que não só analisa as imperfeições manifestadas pelas estruturas de concreto, mas também, quais são as possíveis razões e as medidas mais apropriadas como forma de correção, como também integra fonte de aspectos relevantes para a implantação de estratégias de projeto e de obra, com a finalidade de reduzir as ameaças de acontecimento de danos em aplicações iguais e, com isso, determinar princípios para a expansão da fase utilizável das estruturas (AZEVEDO, 2011).

A elevada pluralidade das demonstrações patológicas exibem indícios próprios que possibilitam ao especialista definir a seu início, as razões que acarretaram o seu surgimento e os efeitos que poderão ocasionar caso não seja adequadamente reparado (BASTOS, 2006).

2.3 ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS

Timerman (2011) diz que as patologias podem acontecer em uma estrutura tanto na fase de construção como ao longo do ciclo pós entrega e uso. Na primeira situação, ao construtor compete identificar os motivos do contratempo e os aspectos que podem ter colaborado para o seu aparecimento, proporcionando as reparações tecnicamente apropriadas para a extinção da revelada danificação. Na segunda situação, as patologias averiguadas pelos usuários das

construções são motivos de reclamações que, em diversos eventos, convertem-se em ações judiciais, do qual é obrigatório o reconhecimento de um culpado pelo acontecimento do dano.

A estrutura de concreto armado, nas construções habitacionais e comerciais, exerce a atribuição de base de todos os demais esquemas que em cima dela apoiam-se, além de encontrar-se submetida a esforços resultantes da atuação do vento e das oscilações térmicas, higrométricas e sísmicas, atuações que precisam ser premeditadas, segundo instituem as normas técnicas brasileiras a respeito do assunto (TIMERMAN, 2011).

A NBR 6118 (2014) em seu item 6.3 determina que devem ser levados em consideração os mecanismos de envelhecimento e deterioração e a agressividade ambiental. Mecanismos estes que se dividem em: relativos ao concreto, relativos a armadura e os da estrutura propriamente dita.

Já no item 6.4 estabelece que agressividade do ambiente está associada às ações físicas e químicas e podem ser expressas em uma tabela, sendo esta, de tão importância que posteriormente será levada em consideração em relação a correspondência entre sua classe e a qualidade do concreto e sua correspondência com o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.

2.4 DESEMPENHO

Cada insumo ou estrutura comporta de um jeito próprio aos geradores de deterioração a que é sujeitado, estando o aspecto de danificação e a sua velocidade a cargo da natureza do insumo ou elemento e das situações de exibição aos fatores de danificação. O estudo da danificação proporciona a avaliação de um elemento (estrutura ou material), conseguindo-se reconhecer que seja suficiente no momento em que constatar determinada uma associação positiva entre sua despesa inicial, sua curva individual de danificação, seu prazo válido e sua despesa de restituição ou recuperação. Por desempenho entende-se a atitude em ação de cada item, ao decorrer de sua vida útil, e a sua quantidade relativa refletirá, em todo o tempo, o resultado do trabalho realizado nas fases de projeto, construção e manutenção (SOUZA; RIPPER, 1998).

Ocorre que, apesar disso, as estruturas e seus componentes danificam-se até quando há um programa de manutenção da danificação, alcança graus de performance insuficientes variando conforme o tipo de estrutura. Uma delas, por erros de projeto ou de execução, já começam as suas existências de maneira insatisfatória, ao mesmo tempo em que outras vão até

o final de suas vidas úteis projetadas ainda exibindo um grau satisfatório (SOUZA; RIPPER,1998).

O fato de uma estrutura em certo instante demonstrar-se com comportamento insuficiente não quer dizer que ela encontra-se conseqüentemente condenada. A análise deste cenário é, quem sabe, o propósito supremo da Patologia das estruturas, fase que esta é a oportunidade que exige rápida interferência técnica, de modo que ainda seja capaz de recuperar a estrutura (AZEVEDO, 2011).

Segundo Souza e Ripper (1998), o conhecimento da vida útil das estruturas está conectado ao que é tecnicamente ponderável, e o seu progresso deve inevitavelmente passar por maior estudo de durabilidade dos insumos, dos elementos e dos variados métodos estrutural, do mesmo modo pelo aprimoramento das fases construtivas, dos programas e das técnicas de manutenção.

2.5 VIDA ÚTIL E DURABILIDADE

A NBR 6118 (2014) em seu item 6.1, determina que as estruturas de concreto precisam ser projetadas e executadas de forma que, perante as condições do ambiente premeditadas no período do projeto e quando empregadas conforme indicado em projeto, mantenha sua segurança, estabilidade e competência em serviço ao longo do prazo que corresponde à sua vida útil.

De acordo com a NBR 6118 (2014) em seu item 6.2.3, a durabilidade depende da colaboração e atitudes ordenadas, indo desde os processos de projeto até os de utilização, tendo como obrigação seguir o estabelecido pela ABNT NBR 12655, seguindo também o determinado pela norma em relação às condições de uso, inspeção e manutenção.

Por vida útil de um insumo compreende-se a fase ao longo da qual as suas características continuam sobre os limites mínimos estabelecidos. O entendimento da vida útil e da curva individual de danificação de cada insumo ou estrutura são aspectos de essencial relevância para a fabricação de orçamentos verdadeiros para a construção. Da mesma forma como de programas de manutenção próprios e reais (SOUZA; RIPPER,1998).

Segundo a NBR 6118 (2014) em seu item 6.2.2, o conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Sendo assim, alguns elementos das estruturas podem requerer atenção única em relação a sua medida de vida útil sendo divergente do todo.

A conexão destas duas concepções é indispensável. Relacionadas, ou estimadas, as particularidades de danificação do material concreto e dos recursos estruturais, compreende-se como durabilidade o fator que compara a utilização destas particularidades a uma estabelecida edificação, diferenciando-a pela análise do resultado que chegará aos resultados da agressividade ambiental, e apontando, assim, a vida útil da mesma (MEHTA; MONTEIRO,2014).

Tem que se compreender que a criação de uma edificação durável provoca a escolha de uma coletânea de decisões e métodos que assegurem à sustentação e aos materiais que a constitui um comportamento aceitável ao decorrer da vida útil da edificação (SOUZA; RIPPER,1998).

Em assunto de durabilidade das estruturas de concreto, e com finalidade de além das dúvidas relacionadas à resistência mecânica propriamente declarada, a palavra-passe pautada ao material concreto, como pseudo sólido que é, é a água (MEHTA; MONTEIRO,2014).

2.6 O CONCEITO DE MANUTENÇÃO

Compreende-se por manutenção de uma estrutura a união de métodos que possuam por objetivo o aumento da vida útil da construção, a um custo compensador (SOUZA; RIPPER,1998).

Segundo a NBR 6118 (2014) em seus itens 7.8.1 e 7.8.2, o grupo de projetos referentes a uma construção tem de governar-se perante um plano claro que simplifique métodos de inspeção e manutenção preventiva da construção, estabelecendo todas as exigências relacionadas ao manual de utilização, inspeção e manutenção em seu item 25.3.

2.7 SINTOMATOLOGIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Das sustentações em geral, e em especial das estruturas de concreto, espera-se uma total adaptação às funções a que se reservam, definitivamente tendo em mente o binômio segurança-economia (SOUZA; RIPPER,1998).

Os problemas patológicos possui seus princípios derivados de erros que acontecem ao longo da consumação de uma ou mais das ações pertinentes ao procedimento geral a que se intitula de construção civil, procedimento este que consegue ser fragmentado, como já citado, em três fases principais: concepção, execução e utilização (AZEVEDO, 2011).

Segundo Souza e Ripper (1998), em grau de particularidade, demanda-se, para a fase de concepção, a certeza de total agrado do cliente, de simplicidade de execução e de viabilidade de correta manutenção; para a fase de execução, estará a de assegurar o fiel acolhimento ao projeto, e para a fase de utilização, é indispensável verificar a certeza de satisfação do usuário e a perspectiva de ampliação da vida útil da edificação.

O aparecimento de transtorno patológico em determinada estrutura aponta, em última iminência e de modo integral, a subsistência de um ou mais erros ao decorrer da execução de uma das fases da edificação, além de indicar para erros também no conjunto de controle de qualidade particular a um ou mais procedimentos (SOUZA; RIPPER,1998).

2.7.1 Requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014

Segundo a NBR 6118 (2014) em seu item 25, designa os requisitos que devem ser seguidos para a aceitação do projeto, o recebimento do concreto e do aço e o manual de utilização, inspeção e manutenção, este descreve todas as exigências que o envolve.

A NBR 6118 (2014) em seu item 5.1, estabelece os requisitos de qualidade da estrutura, onde as estruturas de concreto tem de cumprir as condições mínimas de qualidade, ao decorrer de sua construção e serviço, e as condições extras estabelecidas em conjunto entre o responsável pelo projeto estrutural e o contratador. Requisitos estes que são classificados, em três categorias diferentes: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

2.7.2 Patologias geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto)

A NBR 6118 (2014) em seus itens 5.2 e 5.3, determina os requisitos de qualidade do projeto, que se divide em: qualidade da solução adotada, condições impostas ao projeto e documentação da solução adotada. Além disso, determina todas as exigências que envolvem a avaliação da conformidade do projeto.

Diversos são os erros capazes de acontecer ao longo da fase de concepção da estrutura. Elas podem se gerar ao decorrer da análise preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou decurso da criação do projeto de execução, igualmente conhecido de projeto final de engenharia (SOUZA; RIPPER,1998).

De modo total, as contrariedades técnicas e o gasto para resolver um transtorno patológico gerado de um erro de projeto são exatamente equivalentes à “antiguidade da falha”,

isto é, quanto mais breve, nesta fase da construção civil, o erro haja se dado. Um erro na análise preliminar, por exemplo, origina um empecilho cuja saída é bem mais complicada e caro do que a de um erro que chegue a acontecer na etapa de anteprojeto (SOUZA; RIPPER,1998).

De outro ângulo, confirma-se que os erros gerados de uma análise preliminar malfeita, ou de anteprojetos errados, são incumbidos, em especial, pelo aumento do procedimento de construção, ou por adversidades ligadas à utilização da edificação, ao mesmo tempo em que os erros originados ao decorrer da consumação do projeto final de engenharia normalmente são os encarregados pelo estabelecimento de impasses patológicos sérios (AZEVEDO, 2011).

2.7.3 Patologias geradas na etapa de execução da estrutura (construção)

O seguimento lógico do método de construção civil aponta que a fase de execução deve ser criada somente depois de acabada a fase de concepção, com a conclusão de todas as análises e projetos que lhe são pertinentes. Suspeita-se, por conseguinte, que isto haja acontecido com êxito, sendo capaz nesse caso de ser adequadamente começada a fase de execução, da qual a antecedente ação será o planejamento da obra (AZEVEDO, 2011).

Segundo Souza e Ripper (1998), nesta fase, precisam ser preenchidos todos os cuidados estabelecidos ao agradável progresso da edificação, com a imprescindível particularização da construção, caracterizada pelo planejamento de ações, alocação de mão-de-obra, escolha do “layout” do canteiro e presunção de compras dos insumos.

Nesta etapa, constituem-se indispensáveis das considerações. A primeira relaciona-se à sucessão natural do método comum, isto é, o parâmetro de que só comece a fase de execução depois de terminada a de concepção. Isto, apesar de ser o lógico e o correto, dificilmente acontece, mesmo em construções de maior proporção, sendo ação comum, por exemplo, fazer-se adequações ou mesmo alterações de ampla relevância no projeto ao decorrer da construção, a sombra da justificativa, comumente não precisa, de encontrarem-se indispensáveis diversas descomplicações construtivas, que, na maior parte das situações, acabam por contribuir para a ocorrência de erros (SOUZA; RIPPER,1998).

A segunda observação relaciona-se a técnica industrial designada de construção civil, totalmente atípico no momento em que se trata a atividade industrial em geral. Pois que nesta os elementos passam pela linha de montagem e saem como objetos finalizados, ao mesmo tempo em que na construção civil os elementos são utilizados, em certos procedimentos, em lugares de onde não mais sairão, exceto às estruturas pré-fabricadas, que continuam de modo

grosseiro, o plano comum da fabricação industrial, a não seja a etapa de montagem final (SOUZA; RIPPER,1998).

Desta forma, uma vez começada a edificação, há a possibilidade de acontecer erros de variadas origens, relacionada a razões tão variadas como ausência de condições locais de atividades (cuidados e estímulos), não habilitação profissional da mão-de-obra, não existência de administração de qualidade de execução, insuficiente qualidade de insumos e elementos, falta de compromisso pela parte profissional e até mesmo boicote (AZEVEDO, 2011).

No momento em que se lida com uma obra de construção habitacional, algumas falhas são absurdas e de fácil reconhecimento, outras, todavia, são de difícil reconhecimento e só conseguirão ser corretamente reconhecidos depois de um período de utilização (SOUZA; RIPPER,1998).

Se tratando de estruturas diversos problemas patológicos conseguem acontecer em razão do que já foi dito. Um controle mal feito e um errado controle de equipes, comumente ligados a uma má qualificação profissional do engenheiro e do mestre de obra, escoramento, fôrmas, locação e quantitativo de armaduras e a qualidade do concreto, desde a sua produção até sua cura (AZEVEDO, 2011).

O acontecimento de transtornos patológicos cujo início apresenta-se na fase de execução é de acordo, sobretudo, ao procedimento de fabricação, que é em muito desfavorecido por espelhar, rapidamente, os impasses socioeconômicos, que dão origem a insuficiente capacidade técnica dos trabalhadores menos preparados, como os serventes e os meio-oficiais, e até do grupo com certa qualificação profissional (SOUZA; RIPPER,1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), outra razão essencial a se levar em consideração no estudo da manifestação de transtornos patológicos nas sustentações é relativa à indústria de insumos e elementos.

A superação dos defeitos das indústrias de elementos e insumos e a sua atuação com a indústria da construção civil só deverão ser realizadas com a correta elaboração de normatização e inspeção trabalhadas, e com a permissão, monitorada, de vantagens fiscais que motivem os estudos (SOUZA; RIPPER,1998).

Para as estruturas, os insumos e elementos, em sua maior parte, possuem sua capacidade e método de utilização normatizado. Todavia, o programa de fiscalização, em fase de construção, vem se revelando muito fracassado, e o método para fiscalização e o recebimento dos insumos não é, de modo integral, realizada, sendo este um motivo que revela a vulnerabilidade e a má sistematização da fábrica da construção, da mesma forma que evidencia

a locação subalterna que esta abrange em relação à fábrica de insumos e elementos (AZEVEDO, 2011).

Segundo Souza e Ripper (1998), por esses motivos, são rotineiros os transtornos patológicos que possui seu início na característica imprópria dos insumos e elementos. A baixa durabilidade, as falhas dimensionais, a participação de agentes agressivos inclusos e a pequena resistência mecânica são somente uns dos diversos impasses que conseguem ser localizados nas estruturas como resultado desta má qualidade.

2.7.4 Patologias geradas na etapa de utilização da estrutura (manutenção)

Finalizadas as fases de concepção e de execução, e até quando essas fases venham a ser de qualidade satisfatória, as estruturas conseguem vir a demonstrar transtornos patológicos derivados da má utilização ou da ausência de um sistema de manutenção correto (SOUZA; RIPPER,1998).

Desse modo, e de forma absurda, o proprietário, principal interessado em que a estrutura possua um bom desempenho, será capaz de ser, por desconhecimento ou por descuido, o encarregado de gerar uma danificação estrutural (AZEVEDO, 2011).

Assim sendo, uma estrutura poderá ser visualizada como equipamento mecânico que, para ter em todo o tempo um bom funcionamento, deve possuir manutenção eficaz essencialmente em locais onde a deterioração e o desgaste serão possivelmente superiores (SOUZA; RIPPER,1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), os transtornos patológicos gerados por uso inapropriado conseguem ser impedido transmitindo-se ao proprietário a respeito das capacidades e as limitações da construção.

Os impasses patológicos motivados por manutenção incorreta, ou pela falta total dessa, têm seu início na falta de conhecimento profissional, no despreparo, no descuido e em transtornos econômicos. A ausência de aplicação de investimentos para a manutenção pode vir a ser o motivo encarregado pelo aparecimento de problemas estruturais de grande importância, provocando custos relevantes e, por último, a devida demolição da estrutura (AZEVEDO, 2011).

2.8 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

O estudo das seções de concreto armado tem por objetivo comprovar que, sob solicitações (efeitos das ações) de cálculo, a peça não supera os estados-limite, supondo que o concreto e o aço tenham, como resistências reais, as resistências características minoradas (resistência de cálculo). Assim, as solicitações de cálculo são aquelas que, se alcançadas, levarão a estrutura a atingir um estado-limite, caracterizando sua ruína (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

A NBR 6118:2014 em seu item 13.2, estipula os limites para dimensões, deslocamentos e aberturas de fissuras. Esta determinação de valores-limites mínimos para as medidas de componentes estruturais de concreto possui como meta impedir uma performance inadmissível para os componentes estruturais e proporcionar possibilidades de execução adequadas. Sendo assim, estipula que para vigas, não apresente largura menor que 12 cm. Limites esses que são capazes de serem diminuídos, a menos que respeitem um valor mínimo de 10 cm para eventos incomuns, que deverão obedecer algumas condições.

A NBR 6118:2014 em seus itens 14.4.1 e 14.4.1.1, define os elementos estruturais que são julgados e definidos conforme seu desenho geométrico e seu papel estrutural. Dentro dos elementos lineares se encontra as vigas e são aqueles elementos em que o seu comprimento longitudinal é maior no mínimo três vezes a maior dimensão da seção transversal, e também, são os componentes lineares em que a flexão predomina.

2.9 REFORÇOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Para escolher o reforço adequado deve avaliar qual tipo de patologia que atua em sua estrutura, analisando e separando os casos sobre excesso de fadiga, deficiência na armadura, esmagamento etc. Observa o espaço disponível e suas limitações quanto à implantação do reforço e como vai interferir no restante do partido arquitetônico da obra (TIMERMAN, 2011, p. 1203).

A seguir será apresentado alguns dos métodos mais utilizados para reforço de estruturas de concreto armado com maior ênfase no reforço com fibra de vidro.

2.9.1 Encamisamento

Segundo Timerman (2011) o encamisamento é a adição de uma nova camada, podendo ser constituída de concreto, microconcreto ou graute, a escolha do material depende da espessura que se encontra a patologia. O encamisamento é mais utilizado para reforço com deficiência de corrosão e inércia com a diminuição da seção de aço.

2.9.2 Protensão externa

É uma técnica usada para resolver alguns problemas que os outros sistemas de reforços não solucionariam, especialmente em casos que se encontra numa grave situação de degradação estrutural de elementos horizontais, como por exemplo, vigas (TIMERMAN, 2011, p.1204).

É um método que utiliza uma força externa para equilibrar as tensões, sendo elas internas e que não são previstas, e para incrementar a resistência da estrutura, sendo essas estruturas reforçadas caracterizadas como parcialmente protendido (SOUZA; RIPPER, 1998).

Timerman (2011) define a protensão de um elemento estrutural como a operação de submetê-lo, antes de aplicação das cargas que atuarão na estrutura, a forças externas adicionais aplicadas por macacos hidráulicos que produzem tensões tais que, ao compor-se com as que provêm das cargas atuantes, produzem tensões resultantes inferiores às tensões limites que os materiais podem suportar indefinidamente, sem alteração.

Segundo Souza e Ripper (1998), a maioria dos especialistas preferem a técnica de protensão externa com a utilização de barras e cabos para a recuperação ou reforço de estruturas. Este método é mais usual nos seguintes casos:

- Costura de fendas em vigas;
- Impedir deformações;
- Redistribuir esforços em peças contínuas;
- Aumento da capacidade de carga;
- Correção de ligações pré-fabricadas;
- Criar apoios adicionais, que funcionam como tirantes;

Com este método, há a possibilidade de aplicar novamente o esforço para corrigir (por ser um reforço feito externamente) e utilizar toda a capacidade resistente da estrutura existente, o que demonstra ser uma vantagem (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.9.3 Reforço com chapas e com perfis metálicos

Esse método consiste em colar na parte externa da peça de concreto, chapas ou perfis metálicos, devido a boa aderência das resinas epóxi ao concreto e o aço, encontramos uma grande aplicação dessa técnica, especialmente em vigas, para resistência a esforços de flexão e cortantes (TIMERMAN, 2011, p.1205).

O mesmo autor ressalta que essa técnica possui uma eficácia de aderência tão alta que raramente falha por falta de aderência, que em caso de falha se constata a má realização do reforço ou falha no projeto de reforço.

A superfície de concreto do elemento que será reforçado é de fundamental importância para a transferência das tensões aço-concreto e conseqüentemente, para a execução adequada desse reforço. Esta, deve ser uniformemente rugosa e áspera para uma melhor aderência entre as partes (SOUZA; RIPPER, 1998).

Por ser uma técnica simples, alguns pequenos construtores arriscam executá-la sem um acompanhamento adequado, e na sua ignorância não visam uma total aderência do reforço no elemento estrutural a ser reforçado. Dessa forma, a estrutura não é reforçada e sim prejudicada devido ao aumento de carga que as chapas de aço acrescentam a estrutura (TIMERMAN, 2011).

2.9.4 Reforços com fibras

Há alguns métodos de reforço com fibras, tanto da matriz cimentícia como o reforço com tecidos, o concreto que teve sua matriz reforçado com fibras pode ser considerado como concreto de cimento hidráulico, possuindo apenas agregados miúdos ou miúdos e graúdos e as fibras descontínuas discretas. Sendo as fibras de asbesto, sisal, celulose e as industrializadas como vidro, aço, carbono e polímeros (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 401).

No reforço com tecido, são utilizadas camadas que são fixados com resina normalmente epóxi, aplicando camada por camada até atingir os parâmetros desejados para o reforço (TIMERMAN, 2011, p. 1208)

O reforço do concreto com a fibra tem como objetivo o ganho de resistência à tração, resistência ao impacto, resistência à fadiga é também o combate a retração (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 402).

2.9.5 Reforço com fibra de Vidro

2.9.5.1 Definição

As fibras de vidro são compósitos com a função de reforçar e recuperar estruturas. São formados da união de fibras sintéticas de vidro com uma matriz polimérica, a qual tem a função de juntar e transferir as forças para a fibra, além de protegê-las contra outras patologias ambientais. Segundo Hull (1995), estas são materiais amorfos formados da cristalização que ocorre com um grande período de tratamento em altas temperaturas.

Um das maiores vantagens da utilização da fibra de vidro em reforços estruturais é seu baixo custo, alta resistência ao impacto e a corrosão (FIORELLI, 2002).

A utilização de PRFV (polímeros reforçados com fibras de vidro) para reforço e recuperação de estruturas proporcionará economia de tempo e de materiais na construção civil. Devido a facilidade de adesão a outros materiais, a pequena diferença de peso próprio da estrutura, o considerável aumento da resistência e da rigidez, faz com que estas fibras seja um material bastante utilizado na recuperação e reforço de estruturas (FIORELLI, 2002).

As propriedades dos compósitos são mais dependentes do componente de reforço e sua quantidade, e sua geometria tem grande influência no produto final. De acordo com ele, o material pode ser classificado em particulares (reforço com partículas), fibrosos (reforço com fibras) e compósitos estruturais. As partículas têm suas dimensões simétricas em todas as direções, já as fibras são compridas (BEBER, 2003).

O material reforçado por fibras, do ponto de vista tecnológico é o mais importante, pois as fibras, na maioria das vezes, apresentam melhores propriedades de resistência e rigidez, o que é interessante no ponto de vista estrutural (BEBER, 2003).

As fibras de vidro possuem três classes: E (Electrical), C (Chemical), e S (High Tensile Strength). Tendo suas principais características e formas encontradas no mercado apresentadas nas tabelas 1 e 2 (FIORELLI, 2002).

Tabela 1 - Características da fibra de vidro.

Fibra de Vidro	Características
E glass	Alta resistência e alto módulo de elasticidade; Boa condutividade elétricas.
C glass	Alta resistência a corrosão; Baixa propriedade de resistência.
S glass	Alto módulo de elasticidade; Alta resistência a temperaturas.

Fonte: Hull, 1995.

Tabela 2 - Tipos de fibra de vidro para reforço.

Fibras de Vidro	Características
Fios Têxteis	Formado por duas ou mais fibras simples de vidro, torcidos em sentidos inversos para formarem um único fio, bobinados em um suporte cônico.
Mantas de fios contínuos	Fabricados com fios contínuos de vidro, dispostos de uma forma aleatória em múltiplas camadas e unidos por um ligante.
Mantas de fios picados	Fabricadas com fios picados de vidro, unidos por um ligante solúvel em estireno, que lhe confere uma excelente compatibilidade com resinas poliéster.
Roving	Produzido a partir de fios de vidros indicados para aplicação por projeção simultânea.
Tecido Unidirecional (TRB)	Produzido a partir de mechas contínuas de fios de vidro com agentes de acoplamento compatíveis com resinas poliéster.

Fonte: Catálogo Saint-Gobain Vetrotex, 2000.

Dentre os produtos apresentados o mais recomendado e o tecidos de fibras unidirecionais, são os que possuem melhores propriedades mecânicas e melhor trabalhabilidade devido seu fácil manuseio (FIORELLI, 2002).

2.9.5.2 Propriedades das Fibras de Vidros

Segundo Hull (1995) e Corazza (2012), a composição principal das fibras de vidro é a sílica (SiO_2), podendo ser adicionado diversos outros materiais de acordo com as propriedades que se deseja obter, como por exemplo, a adição de boro, sódio, óxido de cálcio e alumínio.

A fibra de vidro possui uma massa específica de $300 \text{ (g/cm}^3\text{)}$. O coeficiente de dilatação térmica dos compósitos poliméricos depende da resina utilizada, volume de fibra no composto é da direção longitudinal e transversal, como apresentado na tabela 3 (ACI 440.2R, 2002).

Tabela 3: Coeficientes de dilatação das fibras de vidro.

Direção	Coefficiente de Dilatação Térmica
Longitudinal (α_L)	6,0 a 10,0 x $-10^{-6}/^\circ\text{C}$
Transversal (α_T)	19,0 a 23,0 x $-10^{-6}/^\circ\text{C}$

Fonte: ACI 440.2R, 2002.

A fibra de vidro tem uma baixa rigidez, bom isolamento elétrico, boas propriedades mecânicas, como por exemplo, baixo módulo de elasticidade (CORAZZA, 2012).

As tabelas 4 e 5 do ACI 440.R2 apresenta algumas propriedades mecânicas das fibras de vidro.

Tabela 4: Valores de resistência à tração do sistema de reforço com 1mm de espessura.

Sistema de Reforço	Massa Específica das Fibras (g/m^3)	Resistência à tração (Mpa)
Folhas de Resina e Fibras de Vidro	350 a 900	230 a 720
Tecidos de Resina e Fibras de Vidro	300	120

Fonte: ACI 440.2R, 2002.

Tabela 5: Tensão de ruptura e peso específico de material compósito de fibra de vidro.

Propriedades	Compósito de Fibra de Vidro
Resistencia de Ruptura à Tração (Mpa)	423
Peso específico (KN/m ³)	17,3

Fonte: Teixeira, 2007.

Logo, a fibra de vidro é uma opção viável para ser utilizada como material de recuperação estruturas de elementos de concreto armado debilitados com o tempo e de reforço de elementos com boas condições (CORAZZA, 2012).

2.9.5.3 Comportamento a agentes químicos

Quando utilizadas com resinas apropriadas adquirem alta resistência a agentes corrosivos, a resistência depende da resina utilizada. (CORAZZA, 2012).

2.9.5.4 Resistência ao fogo nos sistemas compostos

A resistência ao fogo em materiais dos compósitos de fibras de vidro depende da qualidade da resina aplicada no composto, mas nos testes já realizado possui uma boa resistência ao fogo (CARNEIRO; TEIXEIRA, 2008; CORAZZA, 2012).

2.9.5.5 Efeito da água salgada e alcalinidade no sistema composto

Para se resistir a água salgada e alcalinidade as fibras de vidros dependem de uma matriz adequada, pois podem ser degrada em contato com as mesmas, caso não utilizar a matriz correta (CARNEIRO; TEIXEIRA, 2008).

2.9.5.6 Execução dos sistemas compostos estruturados com fibras de vidro

Antes da aplicação da manta ou tecido de vidro, deve se haver uma preparação no local da aplicação do reforço para garantir uma boa aderência, garantindo assim uma boa eficiência do reforço, o local deve estar limpo, livres de substancias como graxas, poeira, pó, partículas sólidas e substancias oleosas. A aplicação pode ser realizada em superfície tratada e lisa, não

precisando ser rugosa pois a aderência se dá através da resina ou adesivo epóxi (MACHADO, 2010; ZUCCHI, 2015).

Após o tratamento da superfície, aplica-se a resina, com proporção de medidas adequadas conforme a área necessária de reforço, após a aplicação da resina, vem com uma camada de tecido ou manta de fibra de vidro. Após fixado a manta, aplica-se outra camada de resina, essa resina pode ser aplicada com auxílio de um pincel ou rolo, deve-se aplicar resina a manta até que a mesma fique translúcida, para garantir uma boa aderência a peça de concreto (MACHADO, 2010; ZUCCHI, 2015).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O experimento que protagonizou o estudo de caso deste trabalho foi conduzido no período de agosto de 2018 e setembro de 2018, no laboratório CENTRO TECNOLÓGICO do Centro Universitário da Faculdade Evangélica de Anápolis, no município de Anápolis – GO (Figura 2). O local encontra-se na latitude $16^{\circ} 19' 00''$ S e longitude $48^{\circ} 57' 10''$ W, estando aproximadamente a 1017 m de altitude, apresentando um clima Aw, tropical de savana, megatérmico, no inverno apresenta menos pluviosidade que no verão, com temperatura média anual do ar de $22,2^{\circ}\text{C}$, precipitação média anual de 1441 mm, o mês mais seco é Junho e tem 7 mm de precipitação, a maioria da precipitação cai em Janeiro, com uma média de 245 mm. Dados esses relevantes para a caracterização do ambiente em que o experimento foi realizado.

Figura 1 - Laboratório Centro Tecnológico da Unievangélica.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Com o objetivo de atingir uma maior resistência á flexão consideramos a idéia que se reforçássemos corpos de prova prismáticos, simulando vigas, com o tecido de fibra de vidro, quando submetidos a ensaio de flexão, atingiriam maior resistência devido o reforço. Como a nossa meta era fazer um comparativo final, montamos então um plano experimental qualitativo de 4 corpos de prova, 2 reforçados e 2 não reforçados, para se ter prova e contra-prova. Apartir disto teríamos então os dados suficientes para realizar o comparativo, avaliando então se haveria aumento da resistência de flexão ou não.

Tabela 6 - Quantidade de corpos de prova.

Quantidade de corpos de prova	Não reforçados	Reforçados com tecido de fibra de vidro
Prismáticos	2	2

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Para o cálculo do traço utilizamos o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), justamente para se alcançar a resistência desejada. Como este método de dosagem, exige a caracterização dos materiais, realizamos então todos os ensaios necessários e somente depois de ter todos os dados foi possível realizar o cálculo do traço, que é realizado para 1 m³ de concreto.

Com o objetivo de atingir a resistência de 25 MPa com um concreto simples, que é composto de cimento, aregado miúdo, agregado graúdo e água, calculamos o traço, procedimento disponível no Apêndice A.

3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foi utilizado em todos os procedimentos os seguintes instrumentos:

- Agitador mecânico de peneiras;
- Balanças;
- Balde;
- Bandejas metálica retangular;
- Betoneira;
- Balança Hidrostática;
- Câmara Úmida;
- Carro de mão;
- Concha;
- Corpo de prova prismático 500x150x150 mm;
- Escova;
- Estufa;
- Haste reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento;
- Molde tronco conico com diâmetro inferior 200 mm e superior de 100 mm;

- Pá;
- Placa de base com dimensão de 500 mm;
- Picnômetro;
- Pincel;
- Dispositivo para rompimento à flexão;
- Recipiente cilíndrico metálico com alças;

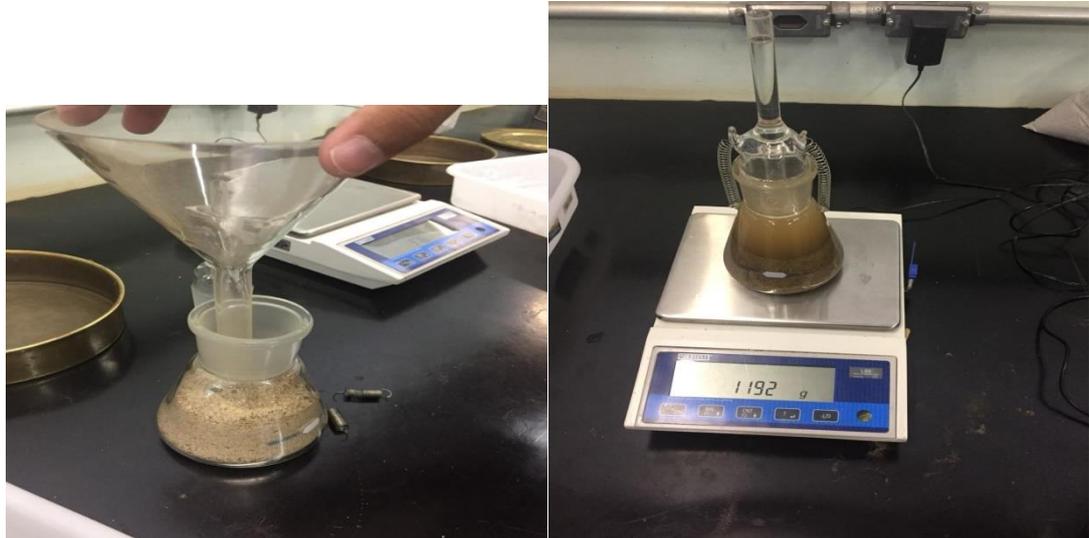
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Massa específica dos agregados

Foi necessário fazer o processo de determinação da massa específica dos materiais usados no experimento, areia e brita 0, de acordo com as normas NBR NM 52:2009 e a NBR NM 53:2009.

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo fizemos a preparação da amostra utilizando 1Kg de areia, coloca-se a amostra em um recipiente com água e deixa em repouso por 24 horas, retira-se a amostra e seca uniformemente com auxílio da estufa, após a secagem da amostra utilizamos 500g de areia. Pesa-se a amostra de areia e frasco na balança, após determinar o peso de sua amostra, enche-se o picnômetro com água até 500ml, depois colocá-lo em um banho mantido a uma temperatura constante de $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$ por aproximadamente 1 hora, posteriormente completar com água até 500ml e determinar a massa total, retira-se a areia do frasco e secá-lo a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, após a secagem esfriar a amostra à uma temperatura ambiente e pesar com precisão de 0,1 g.

Figura 2 - Processo de determinação de massa específica de agregado miúdo através do picnômetro.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Calculo da massa específica se dá através da seguinte expressão:

$$ME = \frac{Ms}{V_0 - V_1} \quad (1)$$

ME – Massa Específica;

Ms – Massa da Amostra seca em estufa;

V_0 – Volume do frasco;

V_1 – Volume de água adicionada ao frasco;

Foi necessário também realizar a preparação da amostra de agregado graúdo, utilizamos uma amostra de 2 Kg, submergimos em água á temperatura ambiente por 24 horas, após o tempo retiramos e deixamos secar com papel absorvente, imediatamente após estar enxuta, pesamos a amostra e colocamos a amostra na balança hidrostática, pesa o agregado imerso em água, pendurando a amostra em um balde perfurado e ligado por um fio ao prato da balança, seca-se a amostra em estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e o deixe resfriar até temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Conforme mostrado na Figura 3. Para se determinar a massa específica do agregado graúdo utilizamos a seguinte expressão:

Figura 3 - Processo de determinação de massa específica de agregado graúdo através da balança hidrostática.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

$$ME = \frac{W}{W-H} \quad (2)$$

ME - Massa Específica;

W - Massa da Amostra seca em estufa;

H - Massa da Amostra imersa em água;

Os dados obtidos no final do ensaio são mostrado na Tabela 7.

Tabela 7: Massa específica dos agregados.

Material	Massa específica (Kg/m³)
Areia	2694
Brita 0	2849

Fonte: Próprios Autores, 2018.

3.2.2 Massa unitária dos agregados

Para a massa unitária foi realizado a caracterização da areia e da brita 0 de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006), como ambos agregados possuem dimensão máxima característica inferior a 37,5 mm foi empregado o “método A” da NBR NM 45:2006 tanto para o agregado graúdo quanto para o agregado miúdo. Realizamos a preparação da amostra utilizando 150% do material necessário, secamos a amostra em estufa a (105 ± 5) °C, pesamos e registramos a massa do recipiente utilizado, o recipiente possui dimensões de 27 centímetros de altura, 22 centímetros de diâmetro e um volume de 0,01 metros cúbicos. A seguir, encheu-se o recipiente com o material com 3 camadas sendo cada camada um terço de sua capacidade

e o adensou aplicando 25 golpes com a haste de adensamento em cada camada, distribuídos uniformemente em toda a superfície do material. A camada superficial do agregado foi nivelada com uma espátula de forma a arrasa-la com a borda superior do recipiente. Foi registrada a massa do conteúdo, a massa encontrada na balança foi dividida pelo volume do recipiente encontrando assim sua massa unitária.

O mesmo processo descrito para a areia foi realizado com a brita 0 para determinação de sua massa unitária.

Figura 4 - Determinação de Massa Unitária dos agregados graúdo e miúdo.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Os dados obtidos no final do ensaio são mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Massa unitária dos agregados.

Material	Massa Unitária (Kg/m³)
Areia	1540
Brita 0	1535

Fonte: Próprios Autores, 2018.

A massa unitária foi calculada segundo a norma da ABNT (2006) NBR NM 45 e esta é obtida pela equação a seguir:

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

Onde,

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

A diferença da massa do recipiente com agregado e a massa do recipiente vazio foi dado pela tara da balança.

E já se sabia que o volume do recipiente usado era de 0,010 m³.

3.2.3 Determinação da composição granulométrica

Seguindo a NBR NM 248 (2003), o ensaio de granulometria da areia foi realizado da seguinte forma; encaixa-se as peneiras observando-se a ordem crescente (base para topo) da abertura das malhas; coloca-se a amostra na peneira superior e executa-se o peneiramento, que pode ser manual ou mecânico; pesa-se o material que ficou retido em cada peneira; procede-se novamente o peneiramento até que, após 1 minuto de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% do material retido; soma-se então as percentagens retidas em cada peneira desconsiderando a quantidade que passa para o fundo que é fixado abaixo da peneira de malha mais fina, posteriormente divide esta soma por 100 encontrando assim o módulo de finura. O módulo de finura é uma grandeza adimensional e deverá ser apresentado com aproximação de 0,01. Após realizar os testes obtivemos o resultado de módulo de finura de 2,23 para o agregado miúdo (areia).

Figura 5 - Peso retido no fundo das peneiras.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Para a brita 0, o processo de determinação da composição granulométrica foi realizado previamente pela técnica do laboratório e, segundo a NBR NM 248:2003 e, por isso não foi preciso realizar o processo. O diâmetro máximo da brita foi de 9,5mm.

3.2.4 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (SLUMP)

Após a produção do concreto, foi realizado o teste de slump de acordo com a NBR NM 67 (1998). Foi utilizado um molde de tronco cônico oco com as seguintes dimensões: diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm. Uma haste de compactação de seção circular, reta, feita de aço com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas. Para apoio do molde uma placa metálica, plana, quadrada com lados de dimensão de 600 mm e espessura igual ou superior a 3 mm.

Primeiro umedeceu-se o molde e a placa base, coloca-se o molde sobre a placa base, para o preenchimento do molde com o concreto o operador deve se posicionar com os pés sobre as aletas do molde de forma a mantê-lo estável. O molde foi preenchido com uma camada a um terço da altura e aplicou-se 25 golpes com a haste de aço para o adensamento, distribuídos uniformemente sobre cada camada, coloca-se mais uma camada a dois terço da altura e aplica-se novamente 25 golpes, completa-se o molde com a ultima camada e aplicou-se mais 25 golpes. A compactação das camadas ocorreu de forma que “os golpes apenas penetrem na camada anterior”.

No preenchimento e na compactação da camada superior deve-se ter um excesso de concreto, antes, durante e depois de compactar, caso durante o processo de compactação, a superfície do concreto ficar abaixo da borda do molde, é necessário adicionar mais concreto sobre a superfície do molde, e após efetuar os golpes rasou-se a superfície do concreto com a haste de compactação. A seguir foi feita a limpeza da placa base e a retirada do molde cuidadosamente, levantando-o na direção vertical em 10 segundos com movimento constante para cima, todo o processo desde o início do preenchimento até a retirada do molde, deve ser realizada em um intervalo de 150 segundos, sem interrupções. Logo após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto através da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado (Figura 6).

Para o cálculo do traço definiu-se o abatimento de 80 ± 10 mm, para melhor trabalhabilidade e manuseio do concreto foi adicionado aditivo, sendo o abatimento obtido de 180mm.

Figura 6 - Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

3.3 ESCRITA DO TRAÇO

Com os dados da caracterização dos agregados em mãos, o traço foi calculado conforme as normas da ABCP para uma resistência de 25 MPa. Pelo método da ABCP, considerando os fatores de cada concreto e um desvio padrão de 5,5 MPa foi obtido um f_{cj} de 34,1 MPa (tensão média de dosagem aos 28 dias). Foi estipulado um abatimento de 80 ± 10 mm. Foi utilizado o cimento CP II F 32 (CAUÊ). Os cálculos resultaram, para 25 MPa, um traço de 1 : 2,18 : 2,34 : 0,58 Kg (Cimento:Areia:Brita:Água).

Com o intuito de produzir apenas 4 corpos de prova prismáticos, obteve-se o seguinte traço: 18 : 39,24 : 42,12 : 10,44 (Kg). Os corpos de provas foram confeccionados no Centro Tecnológico da Unievangélica, no dia 15 de agosto de 2018. O traço foi confeccionado na betoneira. Colocando-se primeiro o agregado graúdo e metade da água calculada no traço base e depois o agregado miúdo, após misturar os agregados colocou-se o cimento e o restante da água. Lembrando que foi adicionado um pouco de aditivo no traço para melhoria de trabalhabilidade do concreto.

3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

A moldagem dos corpos de prova prismáticos foi realizado conforme a NBR 5738 de 2015. De acordo com a mesma NBR, os moldes utilizados para execução dos corpos de prova prismáticos devem ser de aço ou material não absorvente ou reagente ao cimento Portland, de forma que sejam suficientemente resistentes, mantendo sua forma original durante a operação de moldagem, suas superfícies internas devem ser lisas e sem qualquer defeito, impedindo a perda de água. Para este estudo usou-se os moldes prismáticos de 150x500 mm.

A amostra de concreto utilizada na preparação dos corpos de prova foi obtida em concordância com a ABNT NBR NM 33. Para moldagem dos corpos de prova, as formas foram untadas com uma fina camada de óleo mineral para que não reaja ao cimento Portland, impedindo que ele se grude nas paredes da forma.

O concreto foi introduzido nos moldes em duas camadas e foi aplicado 75 golpes para o adensamento em cada camada utilizando a haste de aço de apiloamento. A seguir foi feito o arrasamento com auxílio da régua metálica e colher de pedreiro, para se garantir uma superfície mais lisa e regular. Após a moldagem dos corpos de prova, esperou um tempo de cura inicial de 48 horas, aonde os corpos de provas permaneceram sobre uma superfície horizontal rígida, sem qualquer perturbação, para evitar a perda de água. Após ser observado o prazo de cura inicial descrito acima, estes foram transportados para a câmara úmida para o resto de cura acontecer.

3.5 REFORÇO COM O TECIDO DE FIBRA DE VIDRO

O material está presente na construção civil, no segmento de impermeabilizações, e na fabricação de reservatórios de alta e pequena capacidade. O produto foi adquirido na Fibrotec em Anápolis-GO, empresa especializada exatamente nestes segmentos. O tecido de fibra de vidro veio com um kit, para aplicação, com a resina epóxi e um catalisador.

O método utilizado para aplicação do produto não constava em um manual ou folheto explicativo, mas de acordo com os esclarecimentos do funcionário da empresa, onde deveríamos seguir um passo a passo, para sua aplicação.

A observação feita pelo funcionário da empresa foi de que a mistura resina-catalisador endurecia muito rápido, sendo de extrema importância que fossemos rápidos em sua aplicação.

Todas as recomendações foram seguidas.

Devido a alta velocidade de endurecimento da mistura resina-catalisador, e a remoção do seu resto não acontecer nem mesmo com aplicação de thíner, pode-se concluir que a mão-de-obra para aplicação do produto deva ser especializada.

Os reforços dos corpos de prova foram executados de acordo com o procedimento apresentado neste trabalho no ponto 2.9.5.6, primeiro retirou-se os corpos de prova da câmara úmida no dia 14 de setembro, com mais de 28 dias de idade do concreto, para que estes secassem durante 04 dias, já que a aplicação da fibra deve acontecer com a superfície do concreto limpa e seca.

No dia 19 de setembro reforçou-se os corpos de prova. Antes de tudo, foi preparada a mistura da resina com o catalisador, sendo a proporção de 2% de acordo com o fabricante de catalisador para cada 100ml de resina.

Figura 7 - Catalisador e Resina.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Logo após a mistura dos dois componentes esta foi aplicada direto no concreto, ou seja, por via seca (Figura 8).

Figura 8 - Aplicação no corpo de Prova.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

O Tecido veio logo em seguida sendo fixada na superfície do concreto já saturado com a resina-catalisador, e por fim aplicou-se a última camada da mistura (Figura 9).

Figura 9 - Finalização Corpo de Prova.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Esperou-se 5 dias para realizar os ensaios de resistência dos corpos de prova, já que o recomendado pela empresa do produto é uma cura mínima de 1 dia para que o reforço esteja pronto para ser submetido à esforços mecânicos.

3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CONCRETO

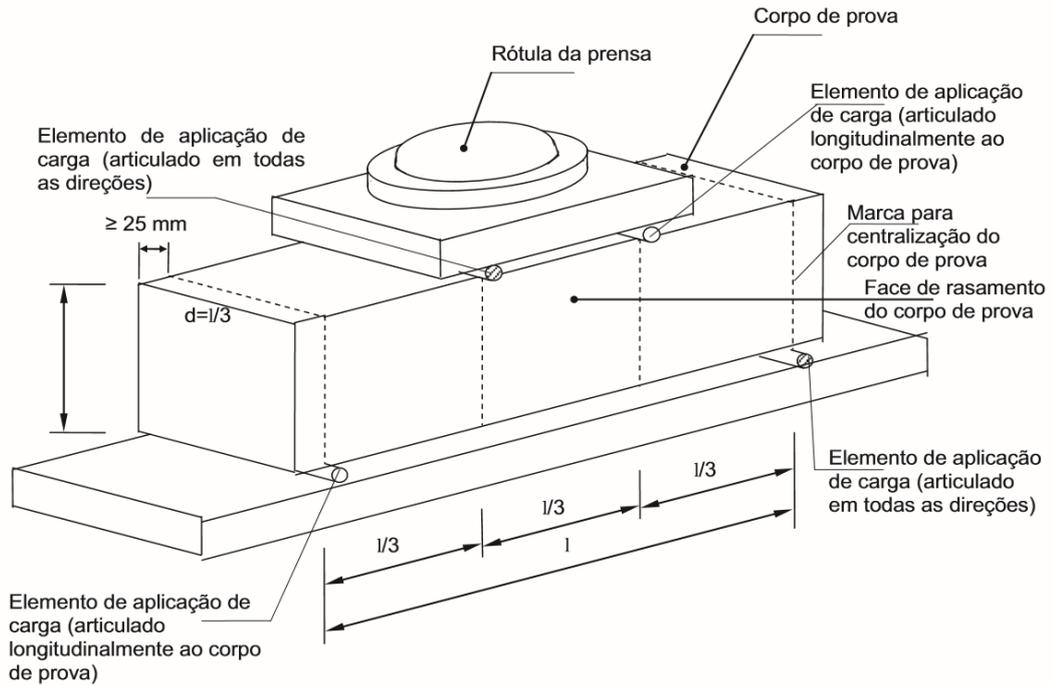
A NBR 12142 (2010) além de esclarecer o motivo de sua criação, expõe a forma que deve ser realizada o ensaio de resistência à tração na flexão em concreto.

De acordo com seu escopo, este método consiste na aplicação do princípio da viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão.

Sendo que para a realização do ensaio foram observadas as características necessárias, como: a distância entre apoios e pontos de aplicação de força. Também foram mantidos durante todo ensaio, a direção das reações paralela à direção da força, e a força que foi aplicada de forma gradual e uniforme.

Os corpos de prova foram colocados paralelos ao seu eixo longitudinal, sobre os apoios, centralizados, com ajuda, das linhas que neles foram traçadas, tanto para centralização, quanto para determinar onde os apoios iriam encostar, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Posição do corpo de prova no aparelho.



Fonte: NBR 12.142 (2010).

A força foi aplicada continuamente e sem choques, de forma que o aumento da tensão sobre o corpo de prova foi compreendido no intervalo de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min. A resistência à tração na flexão, todos os dados e gráficos são dados pelo programa do computador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em conformidade com o apresentado no procedimento experimental e associado aos objetivos propostos foram atingidos os seguintes resultados e discussões.

4.1 ANÁLISE VISUAL E OPERACIONAL

A tabela abaixo apresenta o resultado do experimento do ensaio de flexão. Verifica-se que houve aumento de mais de 36% da carga de ruptura dos elementos reforçados com o tecido.

Tabela 9: Comparativo da Carga de Ruptura.

Arranjo dos corpos de prova prismáticos	Valor Médio da Carga de Ruptura
Concreto Simples	2575 kgf
Concreto com 1 camada de tecido	3525 kgf

Fonte: Próprios Autores, 2018

Após a realização do ensaio de resistência à flexão, os corpos de prova se romperam mas o tecido permaneceu intacto, logo foi necessário pesquisar os possíveis motivos para isto ter ocorrido. Segundo Machado (2010, p.279) “devido à existência de mecanismos de transferência das tensões de cisalhamento e de regiões locais submetidas a tensões normais na interface entre o concreto e o composto PRFV [...]” pode ocorrer do tecido se deslocar da superfície de concreto antes que este atinja sua resistência de ruptura.

Segundo Machado (2010) o deslocamento pode acontecer pelas seguintes causas:

- Tensão de recobrimento do concreto;
- Cisalhamento da viga;
- Cisalhamento interfacial;
- Irregularidades superficiais;

O descolamento por irregularidades superficiais, no caso dos corpos de provas prismáticos é descartado, já que foi de extremo cuidado para que a superfície dos mesmos se alcança maior regularidade possível.

O descolamento devido a tensões de recobrimento, segundo Machado (2010), é provocado por uma atuação da armadura existente na viga, se tornando uma causa a ser

desconsiderada, pois para este trabalho não foram utilizadas armaduras nos corpos de provas, emulando apenas vigas de concreto simples.

Logo, sobrou para se considerar as hipóteses de cisalhamento da viga e cisalhamento interfacial e, também, alguma falha que talvez tenha ocorrido na aplicação do tecido, mais relacionado as tensões da resina.

De acordo com Machado (2010), quando as solicitações de flexão na viga são muito acima da projetada para a seção elas podem entrar em colapso por excesso do esforço cortante ou por uma combinação do esforço cortante com esforço de flexão. Situação, em que conforme as fissuras de cisalhamento aumentam produzem simultaneamente deslocamentos ao longo da face tracionada, provocando assim, o descolamento do tecido. O concreto não suporta as tensões normais e de cisalhamento interfaciais e o tecido descola do substrato, ficando aderida uma fina camada de concreto no tecido de fibra de vidro.

Figura 11 - Corpo de prova prismático após a ruptura.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Figura 12 - Detalhe da fibra após a ruptura.



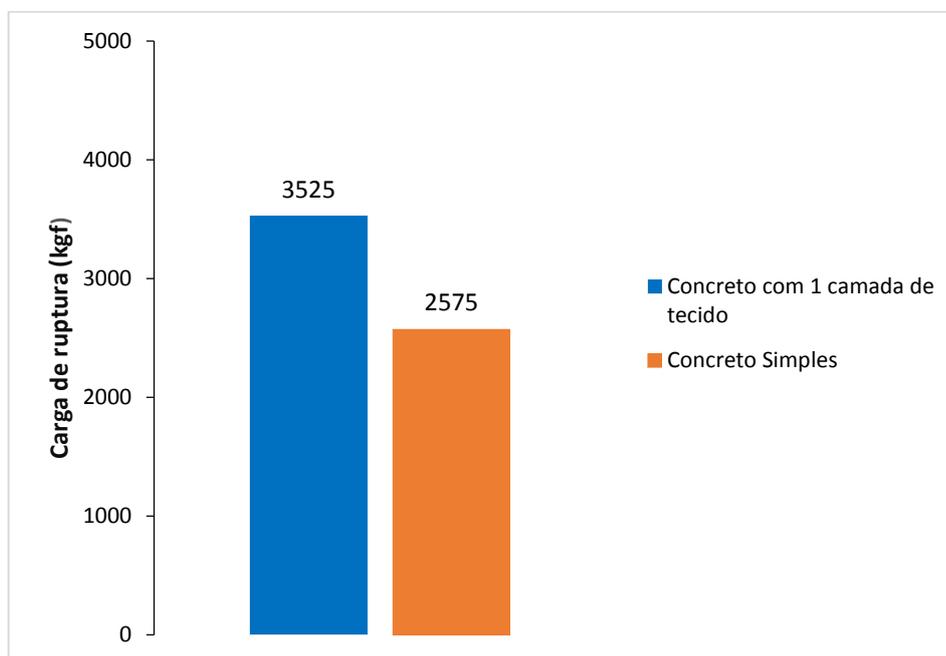
Fonte: Próprios Autores, 2018.

De acordo com o que já foi dito e como pode ser visto nas figuras acima, o tecido permaneceu intacto após a ruptura do corpo de prova, não apresentando nenhum tipo de mudança que indicasse que esta tenha chegado ao seu limite. Consequentemente, reforça a ideia de que o componente resina-catalisador utilizado para a colagem do tecido, atingiu sua resistência máxima descolando-se dos corpos de prova antes do material utilizado para o reforço (tecido de fibra de vidro) atingir sua maior resistência a flexão.

Deve-se lembrar que as instruções do fabricante sobre a aplicação do produto foram seguidas rigorosamente, descartando a ideia de ter ocorrido falhas na aplicação do reforço ou aplicação incorreta da quantidade da mistura resina-catalisador, confirmando a ideia de que a resina não é adequada para reforço de concreto, uma vez que o material é usado em reservatórios.

A figura 13 mostra o gráfico com os resultados das cargas de ruptura obtidas nos ensaios dos corpos de prova prismáticos.

Figura 13 - Gráfico comparativo da carga de ruptura nos corpos prismáticos.



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Fontes e Cunha (2017) realizou um trabalho semelhante na mesma instituição, utilizando de compósito de fibra de carbono (CFC) como material para reforço estrutural, com o objetivo de analisar o ganho de resistência em vigas de concreto simples submetidas a tração à flexão. O processo executivo foi o mesmo utilizado neste trabalho, mudando somente o

material estudado para a realização do reforço, e que se obteve um significativo ganho de resistência. Com a mesma linha de raciocínio realizamos nosso trabalho, no intuito de obter ganho de resistência, mas com um material de mais fácil acesso e menor custo para a nossa região, que é o tecido de fibra de vidro, já que contamos com uma fábrica em nossa cidade.

Atingimos um ganho de resistência menor do que o alcançado pelo trabalho de CFC, porém com um custo significativamente menor, cerca de 7 vezes, nos levando a concluir que, a escolha entre os dois materiais utilizados para o reforço partirá de uma análise do caso concreto, visto que mesmo com um ganho de resistência maior com o CFC, pode não ser viável para obras de pequeno porte devido seu alto custo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a meta de atingir os objetivos propostos, estudamos as características do tecido de fibra de vidro e o testamos como um possível método de reforço estrutural na construção civil. Para isso, foi necessário realizarmos ensaios, sendo estes padronizados por normas, dos agregados que seriam utilizados no traço até a ruptura dos corpos de prova.

Apesar de o método para reforço estrutural apresentar resultados significantes, existem apenas algumas normas internacionais para se projetar e executar este reforço. Por ser um material novo no ramo de reforço estrutural, conta com pouco material bibliográfico sobre sua utilização.

O material adquirido para os testes, veio com um kit para aplicação, composto de uma resina e um catalisador. O método de execução deveria ser realizado de acordo com as instruções do funcionário da empresa em que adquirimos o material, pois o método não constava em nenhum manual ou folheto explicativo, dentre as instruções para aplicação do reforço dadas por ele, destacou a idéia de que deveríamos ser rápidos para execução do reforço, pois a mistura realizada com o material do kit endurecia muito rápido.

Observaram-se bons resultados de ganho de resistência na aplicação para o reforço estrutural, considerando a relação custo/benefício. Se o reforço com tecido de fibra de vidro for realizado para pequenas obras, se torna viável visto que conseguimos obter um significativo ganho de resistência com um material de valor acessível.

A partir dos resultados alcançados neste trabalho pôde-se concluir que a viabilidade da utilização do compósito de fibra de vidro para o reforço estrutural irá depender da dimensão da obra em que será aplicado. Todavia, necessita-se uma maior atenção aos reforços de vigas, devido ao esforço de cisalhamento que ocorre na interface concreto/resina e que pode causar o descolamento do reforço.

5.1 RECOMENDAÇÕES

Sugere-se para trabalhos futuros o estudo da aderência concreto/resina em vigas ou até mesmo a resistência da resina; o estudo da viabilidade econômica do reforço estrutural com compósitos de fibra de vidro comparado com outros métodos de reforços mais tradicionais associado à necessidade do aumento de resistência da estrutura.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: NBR6118**. 2014

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

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

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 67**: Concreto -Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

_____. **NBR NM-ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 5738**: Concreto – corpo de prova. São Paulo, 2015.

_____. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ACI 440 2R:02: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. U.S.A.: American Concrete Institute, 2008. 80 p. Disponível em: <<http://cvi.araku.ac.ir/download/-440->>. Acesso em: 15 mar. 2018.

AZEVEDO, Minos Trocoli de. Patologia das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia vol. II**. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1095-1128.

BASTOS, PAULO SÉRGIO DOS SANTOS. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. 2006. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43189267/FUNDAMENTOS_Concreto.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1540927696&Signature=FikOVcDdOwUGXVXk8%2BP037%2F8eSA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDADE_ESTADUAL_PAULISTA_UNE_SP_-Ca.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018.

BEBER, Andriei José. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. 2003. 317 p. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2974>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

CARNEIRO, Luiz Antônio Vieira; TEXEIRA, Ana Maria Abreu Jorge. **Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos usados na Engenharia de**

Construção. 2008. 13 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Instituto Militar de Engenharia, Revista Militar de Ciência e Tecnologia, 2008. Disponível em: <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_quad_2008/propr_caract_compostos_compositos.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2018.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 415 p.

CATÁLOGO Saint-Gobain Vetrotex. Disponível em: <<https://www.vetrotextextiles.com/>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

CORAZZA, Ismael. **Tecnologia de materiais.** 2012. Disponível em: <http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2012/cobertura_paineis/tecnologias/apresentacoes/jushi.pdf - ISMAEL CORAZZA Jushi-Sinosia>. Acesso em: 06 junho 2018.

FIORELLI, Juliano. **Utilização de Fibra de Carbono e de Fibras de Vidro para reforço de vigas de madeira.** 2002. 168 p. Tese de Mestrado (Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, [S.l.], 2002. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44390226/disjuliano.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1528482306&Signature=cdNKGmwFAD6w%2BaE32OtXevKTtiU%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDADE_DE_SAO_PAULO_ESCOLA_DE_ENGE.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2018.

FONTES, Gabriela Azevedo; CUNHA, Larissa Lisboa. **ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA DA APLICAÇÃO DE MANTA DE FIBRAS DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO SIMPLES.** 2017. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)- UniEvangélica, Anápolis, 2017.

HULL, D. **An Introduction to composite materials.** Cambridge University, 1995.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono.** [S.l.: s.n.], 2010. 120 p.

MATEUS, Ricardo. **NOVAS TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS COM VISTA À SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO.** 2004. 79 p. Defesa de Mestrado (Engenharia Civil)- ESCOLA DE ENGENHARIA – Departamento de Engenharia Civil, [S.l.], 2004. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/817/5/Parte%20I.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais – 3ª edição.** Ed.: IBRACON. ISBN.: 978-85-98576121. Português, p. 674. 2008.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto.** 2. ed. [S.l.]: BROOKMAN, 2013. p. 1-452.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

TEIXEIRA, A. M. A. J., 2007, **Ponte Desmontável em Material Compósito de Fibra de Vidro**". Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

TIMERMAN, Julio. Reabilitação e Reforço de Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia vol. II**. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1175-1210.

ZUCCHI, Fernando Luiz. **Técnicas para o Reforço de Elementos Estruturais**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria, 2015.

APÊNDICE A – Cálculo do traço do concreto pelo método da ABCP

O primeiro passo é o cálculo da resistência média aos 28 dias – F_{cj} – a partir do desvio padrão.

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (1)$$

Em que:

F_{cj} = resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em MPa;

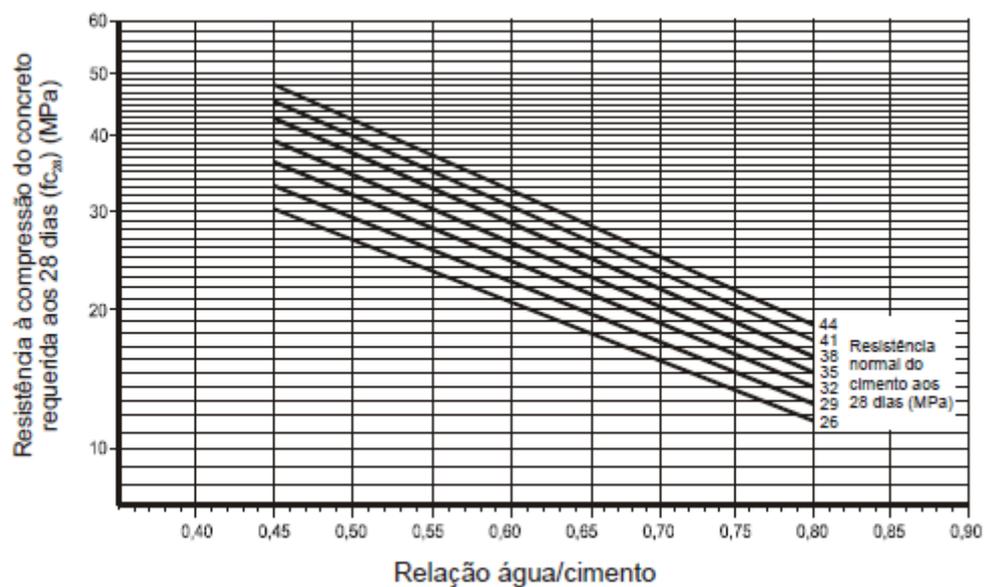
F_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

S_d = desvio-padrão da dosagem em função do grau de controle na produção do concreto, em MPa;

- $S_d = 4,0$ MPa, controle rigoroso.
- $S_d = 5,5$ MPa, controle razoável.
- $S_d = 7,0$ MPa, controle regular.

No segundo passo fixa-se a relação água/cimento (a/c). O seu valor é estimado com base na curva de Abrams na qual, utiliza-se o tipo de cimento e a resistência do concreto aos 28 dias.

Figura 1 - Gráfico para determinação da relação água cimento (a/c) em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.



Fonte: Assunção, 2002.

Considerando a dificuldade de expressar o consumo de água na mistura por meio de uma lei matemática, Rodrigues, 1990 apresenta como estimativa inicial do consumo de água por metro cúbico de concreto, os valores constantes na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função do diâmetro máximo característico do agregado e do abatimento da mistura.

Abatimento do tronco de cone	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60 mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80 mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100 mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

Fonte: Assunção, 2002.

O terceiro passo é a estimativa do consumo de cimento. O fator água/cimento nada mais é do que uma fração, que divide o peso da água pelo peso do cimento, conforme abaixo:

$$A/C = \frac{C_a}{C_c} \quad (2)$$

No quarto passo é feito a estimativa de consumo de agregados.

A Tabela 2, cujos valores foram determinados experimentalmente pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), apresenta os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do diâmetro máximo característico do agregado graúdo ($\phi_{\text{máx.}}$) e do módulo de finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 2 - Volume compactado seco (V_{pc}) do agregado graúdo por metro cubico de concreto.

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo ($\phi_{\text{máx.}}$)				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725

3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Assunção, 2002.

Através da equação 3 obtém-se o consumo de agregado graúdo.

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad (3)$$

O quinto passo é a estimativa do consumo de agregado miúdo, para 1,0 metro cúbico de concreto. O volume do agregado é dado pela equação abaixo:

$$V_m = 1 - \left(\frac{P_c}{\gamma_c} + \frac{P_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{P_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad (5)$$

A escrita do traço é feita na sequência:

Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)

APÊNDICE B – Cálculo detalhado do traço do concreto de 25 MPa pelo método da ABCP

Para a resistência de 25 MPa o traço foi calculado da seguinte maneira:

Concreto:

- $F_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- Abatimento $80 \pm 10 \text{ mm}$

Cimento:

- CP II F 32 (CAUÊ)
- $\gamma = 2,93 \text{ g/cm}^3$ (NM 23:2001)

Agregado miúdo – Areia 0% umidade:

- Módulo de finura = 2,23
- $\gamma = 2,694 \text{ g/cm}^3$
- $MU = 1,540 \text{ g/cm}^3$

Agregado graúdo – Brita 0:

- Diâmetro máximo: 9,5mm
- $\gamma = 2,849 \text{ g/cm}^3$
- $MU = 1,535 \text{ g/cm}^3$

Água:

- $\gamma = 1,0 \text{ g/cm}^3$
- Primeiro passo:

Pela Equação 1 do Apêndice A, calcula-se o F_{cj} :

$$F_{cj} = 25 + 1,65 \cdot 5,5 = 34,1 \text{ MPa}$$

- Segundo passo:

Pela Figura 1 do Apêndice A obtém-se a relação água/cimento:

$$a/c = 0,58$$

O consumo de água é dado pelo Tabela 1, do Apêndice A:

$$\text{Consumo de água} = 230 \text{ l/m}^3$$

- Terceiro passo:

Através da Equação 2 do Apêndice A obtém-se o consumo de cimento:

$$C_c = \frac{230}{0,58}$$

$$C_c = 396,55 \text{ Kg}$$

- Quarto passo:

O volume do agregado (V_{pc}) é dado pela Tabela 2 e o seu consumo (P) é calculado pela Equação 3, ambos disponíveis no Apêndice A:

$$V_{pc} = 0,605 \text{ m}^3$$

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)}$$

$$1535 = \frac{P(kg)}{0,605}$$

$$P = 928,68 \text{ kg}$$

- Quinto passo:

O volume do agregado miúdo é dado pela Equação 4 e seu consumo pela Equação 5, ambas do Apêndice A.

$$V_m = 1 - \left(\frac{396,55}{3100} + \frac{928,68}{2849} + 230 \right)$$

$$V_m = 0,322 \text{ m}^3$$

$$2694 = \frac{P(kg)}{0,322}$$

$$P = 867,73 \text{ kg}$$

A escrita do traço é feita na sequência:

Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)

396,55 : 867,73 : 928,68 : 230 (Kg)

1 : 2,28 : 2,34 : 0,58 (Kg)

ANEXO A – Ensaio de compressão dos corpos de prova prismáticos.

NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: cp
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 15/08/2018

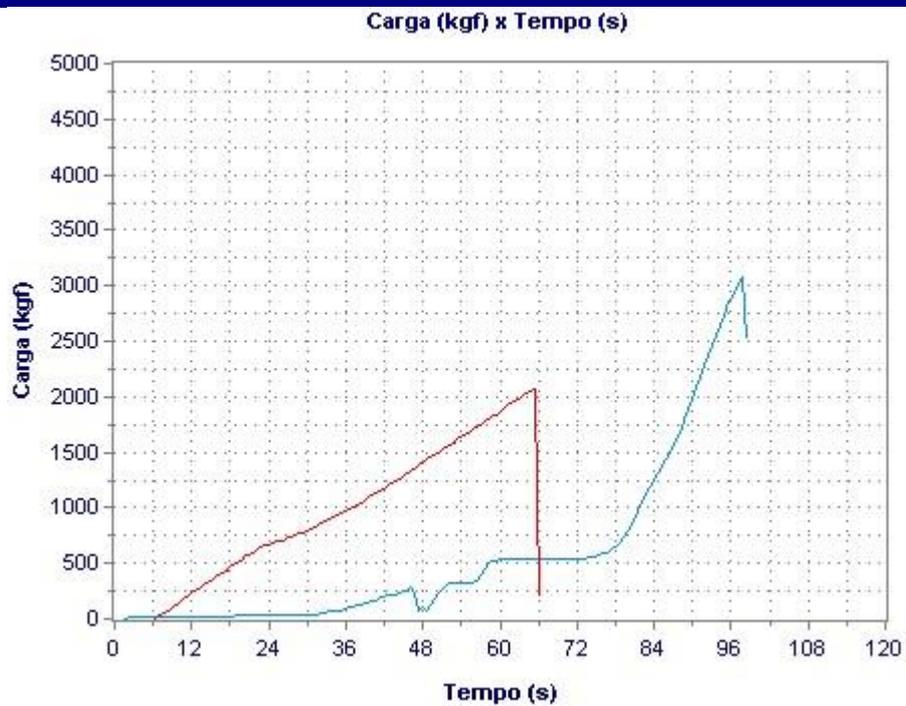
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	40	1,3 (MPa)	3.090 (kgf)	
02	40	0,9 (MPa)	2.060 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



ANEXO B – Ensaio de compressão dos corpos de prova prismáticos reforçados.

NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: fibra de vidro
 Tipo de ensaio: Tração na Flexão - Prismático
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 15/08/2018

Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	40	1,5 (MPa)	3.550 (kgf)	
02	40	1,5 (MPa)	3.500 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio

