

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIEL MARTINS ARAÚJO  
KAREN SUZY DE MORAIS CUNHA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O GANHO DE  
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE UM PILAR  
REFORÇADO PELO SISTEMA CONVENCIONAL E POR  
FIBRAS DE CARBONO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2017**

**GABRIEL MARTINS ARAÚJO  
KAREN SUZY DE MORAIS CUNHA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O GANHO DE  
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE UM PILAR  
REFORÇADO PELO SISTEMA CONVENCIONAL E POR  
FIBRAS DE CARBONO**

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

**ORIENTADOR: WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA**

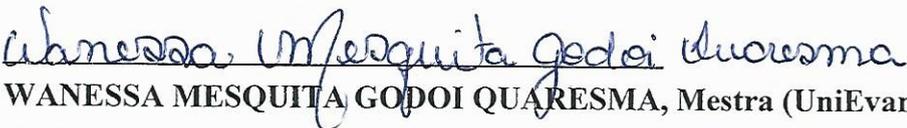
**ANÁPOLIS / GO: 2017**

GABRIEL MARTINS ARAÚJO  
KAREN SUZY DE MORAIS CUNHA

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O GANHO DE  
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE UM PILAR  
REFORÇADO PELO SISTEMA CONVENCIONAL E POR  
FIBRAS DE CARBONO

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 GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)

  
AURÉLIO CARTANO FELICIANO, Especialista (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

  
CLAÚDIA GOMES DE OLIVEIRA, Mestra (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 de NOVEMBRO de 2017.

## FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, GABRIEL MARTINS; CUNHA, KAREN SUZY DE MORAIS.

Estudo comparativo entre o ganho de resistência à compressão de um pilar reforçado pelo sistema convencional e por fibras de carbono

59P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC – UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Reforço estrutural   | 2. Manta de Fibras de Carbono |
| 3. Sistema convencional | 4. Patologia                  |
| I. ENC/UNI              | II. Título (Série)            |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, Gabriel Martins; CUNHA, Karen Suzy de Moraes. Estudo comparativo entre o ganho de resistência à compressão de um pilar reforçado pelo sistema convencional e por fibras de carbono. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 59p. 2017.

## CESSÃO DE DIREITOS

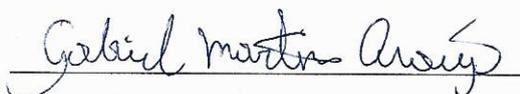
NOME DO AUTOR: Gabriel Martins Araújo

Karen Suzy de Moraes Cunha

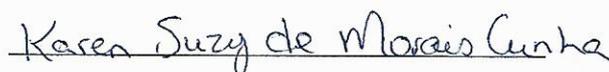
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo comparativo entre o ganho de resistência à compressão de um pilar reforçado pelo sistema convencional e por fibras de carbono.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2017

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.



Gabriel Martins Araújo  
E-mail: gabriel.m.araujo.1@gmail.com



Karen Suzy de Moraes Cunha  
E-mail: karensuzynice@hotmail.com

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível. Agradeço a coragem e fé dada, e por ser o motivo pelo qual nunca me deixei abater com os problemas do dia-a-dia, procurando sempre mais forças para continuar.

Gabriel Martins Araújo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado a glória de chegar até aqui e sempre ter me abençoado durante as minhas conquistas. Aos meus pais, por serem o meu alicerce, não deixando nunca desistir dos meus objetivos. Agradeço por terem me ensinado que a maior riqueza de uma pessoa são os estudos.

Karen Suzy de Moraes Cunha

## **RESUMO**

Devido ao fato da maioria das construções brasileiras serem feitas de concreto armado, a necessidade de sanar possíveis falhas surge, sendo elas: executivas, de projeto, patologias decorrentes de sua vida útil ou mudança da finalidade de uso da edificação. A análise das diferentes técnicas de reforço estrutural é de grande importância para a engenharia. O estudo da manta de fibra de carbono como reforço estrutural é pouco explorado, porém bem promissor, se mostrando um material leve, de rápida aplicação e rápidos resultados. Apesar do grande potencial há grande carência de informações que apresentam características do comportamento mecânico e utilização da aplicação deste material. Neste contexto, será apresentado a importância do reforço estrutural, descrevendo as principais técnicas utilizadas que são elas o reforço pelo método convencional e o reforço com a utilização de compósitos de fibra de carbono, fazendo a comparação destes dois métodos. Com os resultados foi possível realizar as análises das vantagens e desvantagens de cada sistema de reforço estudado, podendo assim indicar qual o melhor meio a utilizar dependendo das condições em que a estrutura está sujeita.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Reforço estrutural. Compósitos de fibra de carbono. Método convencional. Patologias.

## **ABSTRACT**

Due to the fact that most of the Brazilian constructions are made out of reinforced concrete, the necessity to heal possible failures arise, being them: executives, project, pathologies due to its lifetime, capacity limitations or a change of capacity needed. The analysis of different structural reinforcement techniques is very important for the engineering area. The study of carbon fiber reinforced polymer composites as a reinforcement is poorly known, but very efficient, because of its lightweight, fast application and fast results. Although it has a great potential, there is a huge lack of information to show all the characteristics of its mechanical behavior and its application. This study will show the importance of reinforcement, describing the principal techniques used: the conventional method and carbon fiber reinforced polymer composites, comparing these two methods. With the results, the analysis of the advantages and disadvantages of each method was discovered, showing which one is the most efficient to use, depending on the situation of the building.

### **KEYWORDS:**

Structural reinforcement. Carbon fiber polymer composite. Conventional method. Pathology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de estrutura em concreto armado .....	18
Figura 2 - Inter-relacionamentos entre conceitos de durabilidades e desempenho .....	19
Figura 3 - Causas de patologias.....	20
Figura 4 – Evolução da deterioração de estruturas de concreto por corrosão de armaduras. ..	21
Figura 5 - Identificar fissuras ativas ou inativas.....	22
Figura 6 - Critérios para manutenção das estruturas.....	24
Figura 7 - Preparação das faces do pilar .....	27
Figura 8 - Armadura de reforço estrutural .....	28
Figura 9 - montagem das formas .....	28
Figura 10 - lançamento de graute pelo Cachimbo.....	29
Figura 11 - diagrama tensão normal x deformação específica.....	33
Figura 12 - sistema de aplicação das folhas flexíveis de fibra de carbono .....	35
Figura 13 - Moldes para confecção dos CP's.....	37
Figura 14 - Brita 0 utilizada na confecção dos corpos de prova .....	38
Figura 15 – Areia fina utilizada na confecção do concreto.....	38
Figura 16 – Peneiras – ensaio de granulometria da brita .....	39
Figura 17 – Peneiras – ensaio de granulometria da areia.....	40
Figura 18 – Cura dos CP's na câmara úmida.....	41
Figura 19 – Rompimento do corpo de prova.....	42
Figura 20 – Graute utilizado no método de reforço de aumento de seção.....	43
Figura 21 – Graute e brita 0.....	43
Figura 22 – Mistura concluída.....	44
Figura 23 - Resina Epóxi.....	45
Figura 24 - Endurecedor.....	45
Figura 25 - Manta de fibra de carbono.....	46
Figura 26 - Mistura da resina e endurecedor.....	46
Figura 27 - Aplicação da resina.....	47
Figura 28 - CP's reforçados com MCFC .....	47
Figura 29 – CP rompido feito apenas com graute .....	49
Figura 30 – Rompimento do CP que teve área aumentada .....	49
Figura 31 – CP reforçado com MCFC.....	50
Figura 32 – CP reforçado com MCFC rompido.....	51

Figura 33 – CP reforçado com MCFC rompido..... 51

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Gastos em países desenvolvidos com manutenção (dados referentes à 2004, exceto a Itália, que se refere à 2002).....	23
Tabela 2 - Tempo de cura da resina epóxi .....	25
Tabela 3 - Quantidade de brita retida nas peneiras.....	39
Tabela 4 - Quantidade de areia retida nas peneiras .....	40
Tabela 5 - Resultados ensaio a compressão .....	42
Tabela 6 – Resultados de resistência a compressão fornecidos pelo fabricante .....	44
Tabela 7 - Ensaio a compressão dos CP's com apenas graute .....	48
Tabela 8 - Ensaio a compressão com aumento de seção transversal.....	49
Tabela 9 - Ensaio a compressão com reforço com MCFC.....	50
Tabela 10 - Comparativo de resistência entre CP's com Cimento CP II-Z-32 e Graute.....	52
Tabela 11 - Comparativo de resistência entre CP's com aumento de seção, 1 volta de MCFC e 2 voltas de MCFC.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpo-de-prova
MCFC	Mantas de Compósitos de Fibra de Carbono
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
PAN	Poliacrilonitrila

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo geral .....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 METODOLOGIA.....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	17
2.1.1 Vida útil e durabilidade .....	18
2.1.2 Patologias.....	20
2.1.3 Manutenção de estruturas de concreto .....	22
2.2 SISTEMA CONVENCIONAL DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL	24
2.2.1 Histórico .....	24
2.2.2 Materiais usados na recuperação estrutural.....	25
2.2.2.1 Resina Epoxídica .....	25
2.2.2.2 Barras de Aço .....	25
2.2.2.3 Graute.....	26
2.2.3 Etapas executivas .....	26
2.2.3.1 Etapas Executivas .....	29
2.2.4 Vantagens e desvantagens do uso do sistema.....	30
2.3 SISTEMA DE COMPÓSITOS DE FIBRAS DE CARBONO PARA A RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL .....	30
2.3.1 Histórico .....	31
2.3.2 Propriedades e características .....	32
2.3.2.1 Compósitos com Matriz Polimérica.....	32
2.3.3 Reforço estrutural utilizando compósitos de fibra de carbono .....	33
2.3.4 Aplicações.....	34
2.3.5 Vantagens e desvantagens de reforço com Compósitos de Fibra de Carbono .....	36
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>37</b>
3.1 MÉTODO DE DOSAGEM e moldagem dos corpos de prova.....	37
3.2 ESCOLHA DOS MATERIAIS.....	38

3.4	ENSAIOS DE COMPRESSÃO .....	41
3.5	MÉTODOS DE REFORÇO UTILIZADOS NOS CORPOS DE PROVA .....	42
3.5.1	Reforço estrutural pelo aumento de seção transversal .....	42
3.5.2	Reforço estrutural utilizando mantas de Compósitos de Fibra de Carbono .....	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
4.1	ENSAIOS DE COMPRESSÃO DO REFORÇO PELO MÉTODO CONVENCIONAL .....	48
4.2	Reforço estrutural utilizando mantas de Compósitos de Fibra de Carbono.....	50
4.3	comparação de resultados .....	52
4.3.1	Comparação entre os CPs feitos com cimento CP II-Z-32 e Graute .....	52
4.3.2	Comparação de resultados entre os CPs com seção aumentada, 1 volta de MCFC e 2 voltas de MCFC.....	52
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>54</b>
5.1	Sugestões futuras .....	55
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO B .....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO C .....</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO D .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo de introdução serão apresentados os estudos que deram início a esta monografia. Abordará a contextualização do tema, bem como os objetivos gerais e específicos, justificativa, metodologia empregada e a estruturação do trabalho.

O concreto é um material considerado frágil, quando submetido a esforços e condições não favoráveis ao seu dimensionamento, este pode apresentar patologias que fazem com que este necessite de reforço estrutural. Estas patologias, ditas como falhas, podem ser originadas do processo construtivo, materiais de baixa qualidade, concreto com resistência menor que a de projeto, mudanças na finalidade da utilização da estrutura o que altera o seu carregamento se tornando diferente do calculado ou por falta de manutenção preventiva. Já o reforço estrutural pode ser feito de diversas formas sendo as mais usuais: o sistema convencional (concreto armado), polímeros de fibra de carbono, chapas metálicas.

O concreto armado, é um material utilizado na confecção de peças com efeito (ou não) estrutural que possuem armações feitas com aço em seu interior. Aço este, com função de suprir a deficiência de resistência à tração do concreto simples. O concreto armado, além de seu uso comum na construção (fundação, estrutural), é bastante utilizado em reforços estruturais pelo fato de ser bem reconhecido no mercado e pela facilidade em encontrar matérias primas.

No caso do reforço pelo sistema convencional, como por exemplo quando um pilar por alguma patologia está corrompido, deve-se recuperar a seção comprometida de maneira a preencher supostas fissuras e proteger a armadura de agentes patológicos que causam corrosão, caso a armadura já esteja com vestígios de corrosão, ela deve ser tratada com inibidores de corrosão antes da aplicação do reforço. De acordo com Beber (2003), a maneira tradicional de reforço é o aumento da seção com uma nova camada de concreto para que a capacidade de carga da estrutura seja elevada, é aplicado a superfície de concreto já existente com o objetivo de produzir um elemento monolítico, ou seja, a estrutura original e o reforço se tornam um elemento único.

O outro caso, utiliza-se o reforço estrutural com polímeros de fibra de carbono. Para Adorno *et al.* (2015), esse sistema é composto pela manta de fibra de carbono que entra como material resistente e a resina saturante que promove a adesão entre a fibra e o concreto. Sendo, a aplicação da resina uma ferramenta de fixação das fibras no local para garantir a transferência das tensões de cisalhamento entre elas e a estrutura.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Haja visto que no Brasil o concreto é o principal material de utilização na fabricação de peças estruturais, tendo o reforço estrutural como atividade rotineira na vida profissional de engenheiros civis. A busca por novas técnicas de reforço estrutural contribui com o desenvolvimento do setor, apresenta peças reforçadas com melhores resultados de resistência, durabilidade e eficiência.

O estudo da manta de fibra de carbono como reforço estrutural é pouco explorado, porém bem promissor, se mostrando um material leve, de rápida aplicação e rápidos resultados. Apesar do grande potencial há grande carência de informações que apresentam características do comportamento mecânico e utilização da aplicação deste material.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral comparar dois sistemas de reforços estruturais, sistema convencional por meio do aumento da seção transversal de concreto e o reforço com manta de fibras de carbono, de maneira a descobrir qual tipo de reforço gera maior ganho de resistência a compressão.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Abordar a importância do reforço estrutural, descrevendo as principais técnicas utilizadas, ressaltando as estudadas neste trabalho, possibilitando ao leitor uma visão mais ampla do tema dentro da engenharia civil e sociedade;
- Montar um plano experimental comparativo entre o sistema de reforço convencional por meio de aumento de seção e a aplicação da manta de fibra de carbono;
- Analisar qual o método gerou maior ganho de resistência a compressão;

- Apresentar um comparativo entre ambos reforços, relacionando facilidade de execução e custo de aquisição de ambos materiais necessários para a realização dos reforços.

### 1.3 METODOLOGIA

Visando atingir os objetivos propostos neste trabalho foi desenvolvido um programa experimental que contribuísse para o entendimento dos métodos de reforço estrutural. Desta forma, foram estudadas algumas propriedades e características destas técnicas.

Esta pesquisa se dá por pesquisas bibliográficas como embasamento teórico para melhor entendimento sobre o tema e um plano experimental onde foi comparado de forma quantitativa e qualitativa as características físicas e mecânicas das peças reforçadas tanto pelo sistema convencional quanto pelo método da aplicação da manta de fibra de carbono.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O **capítulo 1** tem por finalidade apresentar os estudos iniciais desta monografia, apresentando os objetivos e a metodologia do trabalho. O **capítulo 2** mostra a revisão bibliográfica desta pesquisa, subdividida em definição, vida útil e durabilidade do concreto armado, patologias ocorrentes e seus tratamentos. Contempla também, os sistemas de reforços estruturais utilizados nesta pesquisa, relatando o histórico, materiais utilizados para a recuperação, etapas executivas e suas vantagens e desvantagens. O **capítulo 3** começa a etapa do programa experimental, método de dosagem do concreto utilizado nos corpos de prova (CP), ensaios característicos dos agregados gráudo e miúdo, montagem dos CPs, cura e ensaio de compressão. Apresenta também, as etapas executivas de cada tipo de reforço estudado. Já no **capítulo 4** é discutido os resultados obtidos pelo experimento. E por fim, o **capítulo 5** tem por finalidade concluir, com base nos objetivos propostos, o que foi entendido pela a comparação dos métodos de reforço estrutural.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica da monografia, subdividida em três tópicos: Estruturas de Concreto Armado; Sistema convencional de recuperação e reforço estrutural; por fim, sistema de compósitos de fibras de carbono para a recuperação e reforço estrutura. Tal revisão é de suma importância para o cumprimento dos objetivos propostos pelo trabalho.

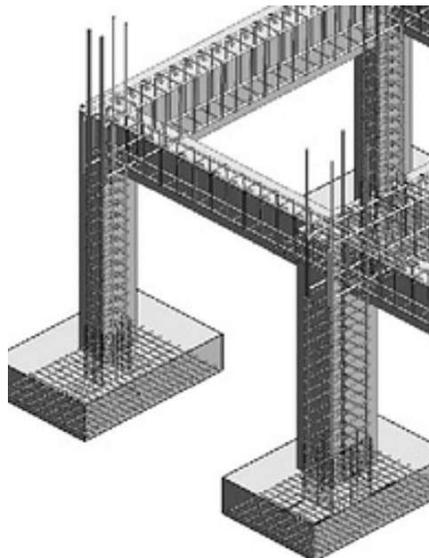
### 2.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, composto por cimento, agregados miúdos (areia), agregados graúdos (brita ou pedra) e água. Atualmente, com o avanço da tecnologia também são usados vários tipos de aditivos, cada um com suas finalidades, como: retardar ou acelerar o tempo de pega, dar mais permeabilidade, resistência, trabalhabilidade, fluidez, etc. Este, possui boa resistência a compressão, porém quando submetido à tração não apresenta um bom comportamento, o que acarreta como alternativa o uso de armaduras de aço no interior da seção da peça, tornando-se então um material composto que suporta, apesar de menor escala, esforços de tração.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define que os elementos de concreto armado são “aqueles cujo comportamento depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.” Ou seja, a armadura deve estar em estado passivo, não pode ser alongada (protendida) antes da concretagem. Para que o concreto armado consiga tem um bom trabalho de resistência, ambos materiais possuem um coeficiente de dilatação de mesma grandeza, boa aderência e além do concreto proteger o aço das ações externas, para que as barras não sofram oxidação.

Uma das grandes vantagens da utilização do concreto armado como elemento estrutural é sua flexibilidade em relação a produção das peças (pilares e vigas), pois o concreto é lançado dentro de moldes feitos com formas de madeira ou metal, de acordo com a seção calculada pelo engenheiro responsável pelo projeto, produzindo peças únicas com diversos formatos.

**Figura 1 – Exemplo de estrutura em concreto armado**



Fonte: HABITISSIMO, 2017.

### **2.1.1 Vida útil e durabilidade**

Presumida as características de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais, entende-se como durabilidade o critério que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, diferenciando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definindo, então, a vida útil da mesma (SOUZA & RIPPER, 1998).

A vida útil de uma estrutura é estabelecida como o espaço de tempo durante o qual as estruturas de concreto mantêm condições aceitável de uso, desempenho das funções e manutenção, atendendo as finalidades esperadas em projeto. A vida útil da construção como um todo depende não só do projeto, como também da execução, materiais utilizados, o uso correto, operação e manutenção previstos pelo projetista, além de que um bom controle tecnológico operado durante o início das obras é essencial na qualidade final do produto, consistindo no estudo da dosagem dos materiais constituintes e no controle do concreto produzido FACHINI (2005<sup>1</sup>, *apud* BRONZE, 2016).

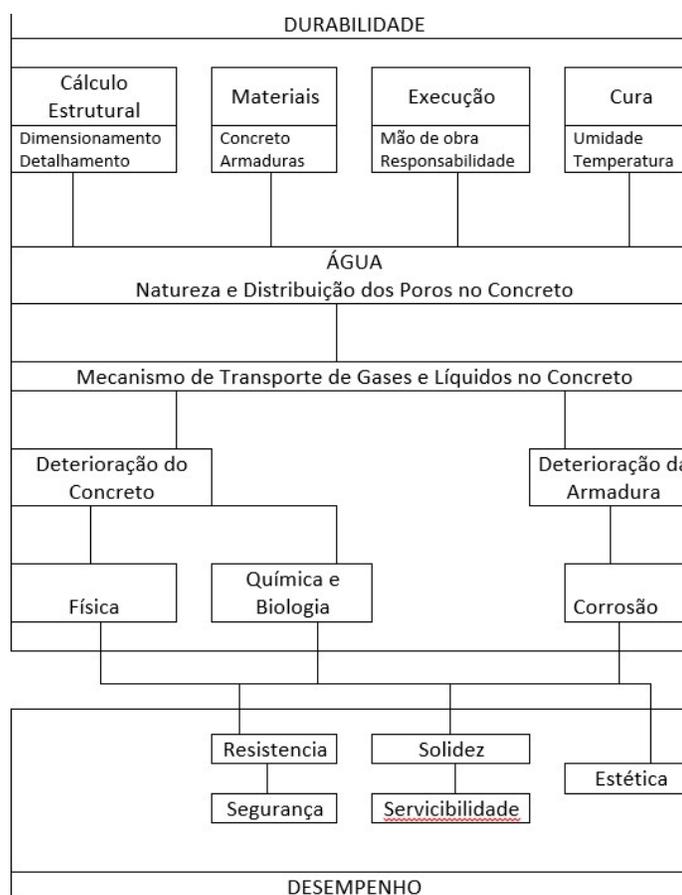
---

<sup>1</sup> FACHINI, A. C. Subsídios para a programação de estruturas de concreto armado nível operacional. 215p. 2005.

A NBR 15575 (ABNT, 2008) especifica que, para edificações de até 5 andares, a vida útil de projeto deve ser considerada de 40 anos. Para se definir a vida útil, há a necessidade de se avaliar o grau de agressividade do meio ambiente e de se conhecer o concreto e a geometria da estrutura, estabelecendo uma relação entre ambos HELENE (2001<sup>2</sup>, apud BRONZE, 2016). A resistência da estrutura de concreto à ação do meio ambiente e ao uso dependerá, no entanto, da resistência do concreto, da resistência da armadura e da resistência da própria estrutura. Qualquer um que se danifique poderá comprometer a estrutura como um todo.

Caso o desempenho da estrutura se torne insatisfatório, os responsáveis deverão estar aptos a tomar a melhor decisão sobre como agir, adotando a opção mais eficaz, que respeite pontos de vista técnicos, econômicos e socioambientais (SOUZA & RIPPER, 1998).

**Figura 2 - Inter-relacionamentos entre conceitos de durabilidades e desempenho**



Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

<sup>2</sup> HELENE, P. R. L. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto, 2001.

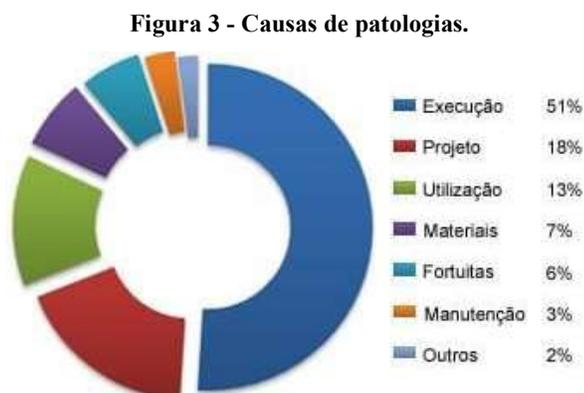
## 2.1.2 Patologias

O termo patologia no ramo da construção civil, tem definição semelhante ao da medicina, onde se estuda as origens, sintomas e natureza das doenças. No caso das estruturas, refere-se a anomalias que podem ocorrer durante ou após a execução da obra, podendo comprometer o desempenho da estrutura (BRONZE, 2016).

Para Piancastelli (1997), como o concreto armado é um material não inerte, ele está sujeito a alterações ao longo do tempo, pois há interações entre os elementos que o constituem (cimento, areia, brita, água e aço), com agentes externos como ácidos, bases, gases, sais, vapores e micro-organismos. Essas alterações podem ser de simples efeitos estéticos desagradáveis, à problemas que prejudicam o desempenho da estrutura. Além dos fatores destes citados, outros problemas podem causar o surgimento das patologias estruturais tais como:

- Defeitos de projeto;
- Defeitos de execução;
- Desgaste;
- Má qualidade de materiais;
- Causas fortuitas (incêndios, inundações, acidentes, etc.);
- Falta de manutenção adequada ao decorrer do tempo;
- Utilização para fins diferentes dos calculados em projeto.

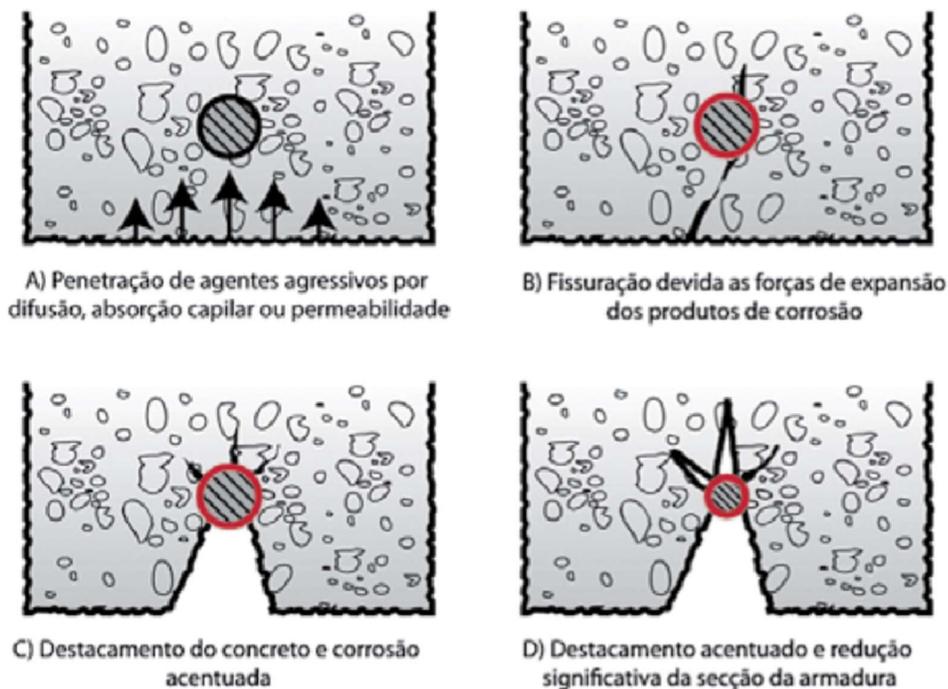
No Brasil o maior problema relacionado as patologias está relacionada a execução, seguido de falhas no projeto e utilização como mostra a figura 3 logo a seguir:



Fonte: AEC, 2017.

Exemplo do surgimento e da evolução do tipo mais comum de patologia associada as estruturas de concreto armado demonstrado na Figura 4.

**Figura 4 – Evolução da deterioração de estruturas de concreto por corrosão de armaduras.**



Fonte: HELENE, 2001.

Sinais que indicam a existência de patologias no concreto de acordo com Piancastelli (1997):

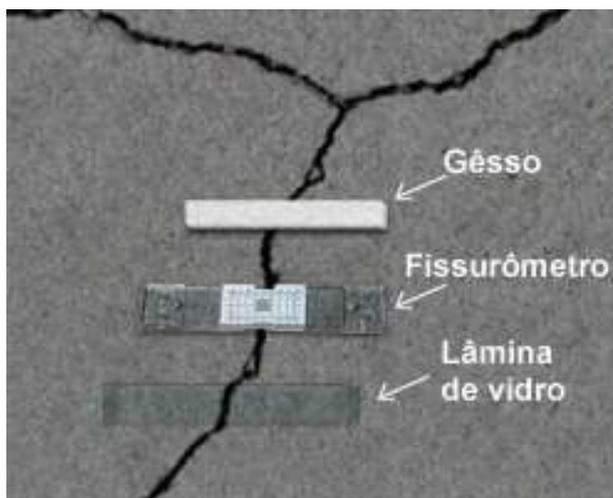
- Fissuras;
- Desagregação;
- Erosão e desgaste;
- Segregação;
- Flechas exageradas;
- Porosidade;
- Permeabilidade, etc.

As fissuras são os sintomas mais comuns de problemas na estrutura de concreto e suas causas são variadas. Devem ser analisadas com cautela, pois nem sempre indica sinal de uma

patologia, uma vez que o concreto pode ser dimensionado nos Estádios II (seção fissurada) ou III (ruptura). A posição e a direção da trinca em relação a estrutura também devem ser analisadas, pois, dão indicações das possíveis causas.

Para Piancastelli (1997), é necessário verificar se a fissura é ativa – fissuras que apresentam variação de abertura -, ou inativa – aquelas que não apresentam variação de abertura.

**Figura 5 - Identificar fissuras ativas ou inativas**



Fonte: AEC, 2017.

De acordo com NBR 9575 (ABNT, 2003), a checagem da fissura pode ser feita utilizando pequenas placas rígidas (gesso ou vidro), coladas na superfície que se rompem caso a fissura esteja apresentando variação de abertura ou pode ser feita também diretamente através do fissurômetro<sup>3</sup>.

### **2.1.3 Manutenção de estruturas de concreto**

A manutenção de uma obra de concreto é um conjunto de atividades necessárias para garantir o desempenho satisfatório ao longo do tempo. Essas manutenções devem ser previstas no projeto e precisam ser executadas a um custo compensador.

---

<sup>3</sup> Instrumento utilizado para medição ou avaliação do progresso de uma fissura ou rachadura.

A partir de pesquisas que demonstram os gastos elevados com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos, percebemos o impacto econômico que estes gastos podem ter na economia de um país. A Tabela 1 permite observar estes fatos. No Brasil, por ser um país em desenvolvimento, os gastos com construções novas ainda são maiores do que gastos com reparos e manutenção.

**Tabela 1 - Gastos em países desenvolvidos com manutenção (dados referentes à 2004, exceto a Itália, que se refere à 2002).**

<i>País</i>	<i>Gastos com construções novas</i>	<i>Gastos com manutenção e reparo</i>	<i>Gastos totais com construção</i>
<i>França</i>	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	164,2 Bilhões de Euros (100%)
<i>Alemanha</i>	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
<i>Italia</i>	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
<i>Reino Unido</i>	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de Pounds (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

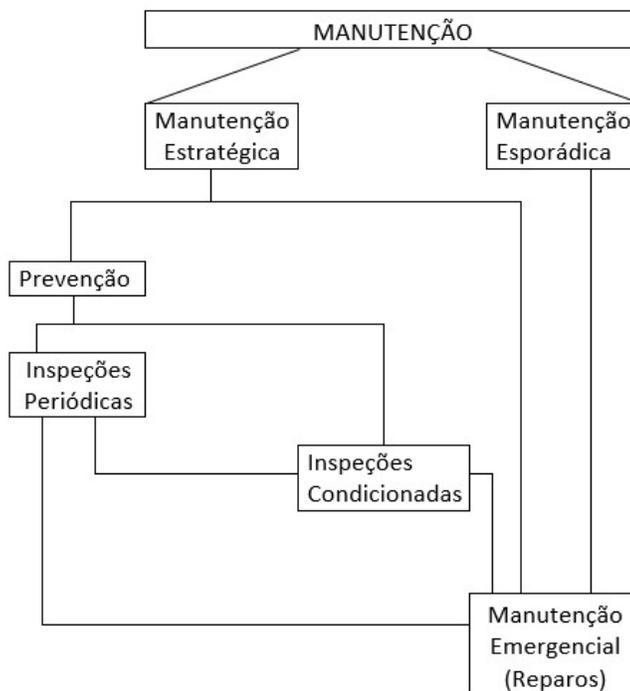
Para prevenir essa situação de custo elevado e intervenções desnecessárias além do acompanhamento da evolução das patologias nas estruturas de concreto armado, faz-se necessário planejamento para combater não apenas o alto custo da manutenção, como também o aumento da vida útil (CASTRO, 2016).

Segundo Souza & Ripper (1998), a Figura 06 mostra que existe duas divisões para a manutenção em estruturas de concreto: as estratégicas, que são previstas e as esporádicas, que são realizadas após a identificação de um problema.

Sendo a **manutenção estratégica** toda manutenção que seja planejada, incluindo programações das eventuais intervenções corretivas e emergenciais. Referindo-se aos casos em que sejam definidos o ritmo e a forma de procedimento, anotações e compilação das inspeções técnicas informativas, assim como a supervisão comportamental das partes mais vulneráveis da estrutura. A **manutenção preventiva** é aquela que é realizada a partir de informações obtidas por inspeções levadas a efeito em intervalos regulares de tempo, de acordo com parâmetros pré-estabelecidos de redução de ruína ou degradação da estrutura, tendo em vista um aumento programado de sua vida útil. Poderão ocorrer casos em que as inspeções ocorram com mais

frequência em determinadas peças estruturais, determinadas a partir de uma dada inspeção rotineira, onde tenham mostrado estar com desempenho prejudicado e a **manutenção esporádica** origina-se da necessidade de determinada atividade de correção ou de reforço, e não está prevista em nenhum plano de ações predeterminados (SOUZA & RIPPER, 1998).

**Figura 6 - Critérios para manutenção das estruturas**



Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

## 2.2 SISTEMA CONVENCIONAL DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL

### 2.2.1 Histórico

O reforço de pilares com o uso da técnica do aumento da seção transversal, também conhecido como encamisamento é o mais antigo e ainda mais utilizado nos dias de hoje, segundo Camargos (2013). Incorpora-se uma armadura de aço e graute<sup>4</sup> para a recuperação da seção e aumento da capacidade de carga da estrutura.

<sup>4</sup> Concreto específico indicado para reparos

## 2.2.2 Materiais usados na recuperação estrutural

São apresentados aqui as principais resinas utilizadas nas técnicas de reforços estruturais.

### 2.2.2.1 Resina Epoxídica

A resina epoxí é um plástico termofixo que se endurece ao entrar em contato com agente catalisador (endurecedor). Em reforços estruturais, são recomendadas resinas de alta resistência. Uma das mais utilizadas é a RE-500, da Hilti, apresenta diversas vantagens, como:

- Redução do comprimento de ancoragem devido à alta resistência;
- Não escorre no furo e pode ser usada de baixo para cima;
- Pode ser aplicada em superfície úmidas e até mesmo submersa.

O tempo de cura depende da temperatura da superfície onde ela será aplicada, variando conforme a Tabela 2.

**Tabela 2 - Tempo de cura da resina epóxi**

<i>Temperatura do material base (°C)</i>	<i>Tempo de trabalho t (min.)</i>	<i>Tempo de cura t (min.)</i>
-5	4 h	72 h
0	3 h	50 h
10	2 h	24 h
20	30 min.	12 h
30	20 min.	8 h
40	12 min.	4 h

Fonte: HILTI, 2010

### 2.2.2.2 Barras de Aço

As barras de aço utilizadas no reforço de estruturas são as mesmas que se usam durante o início da construção, são produzidos de acordo com as especificações da NBR 7480 (ABNT, 2014), fornecidos na categoria CA-50 com superfície nervurada.

### 2.2.2.3 Graute

O graute é um concreto específico que possui duas diferenças principais de um concreto comum: fluidez e alta resistência.

Segundo HELENE (2001<sup>5</sup>, *apud* BRONZE 2016), alguns pontos do concreto precisam ser considerados para que ele seja considerado graute como:

- Consistência fluida, não precisando de adensamento;
- Altas resistências tanto iniciais quanto finais;
- Apresente expansão controlada.

Devido a sua fluidez, o graute é eficaz no quesito de reforço, uma vez que consegue preencher todos os vazios presentes na seção onde será recuperada, tanto na parte onde estava corrompida, como da parte onde há a nova armadura, que em geral possui uma quantidade alta de aço, o que dificultaria o adensamento caso fosse um concreto comum.

Sua alta resistência ajuda na diminuição da seção transversal em relação a concretos com menor resistência. Sendo assim, é um fator desejável, já que irá interferir menos na arquitetura, que não previa um aumento de seção transversal. Outra parte importante é sua alta resistência inicial, que ajuda em outro fator que é a urgência demandada por obras de reforço estrutural, em certos casos não há necessidade de esperar a cura completa do graute e nos primeiros dias já pode retirar as formas e continuar o trabalho.

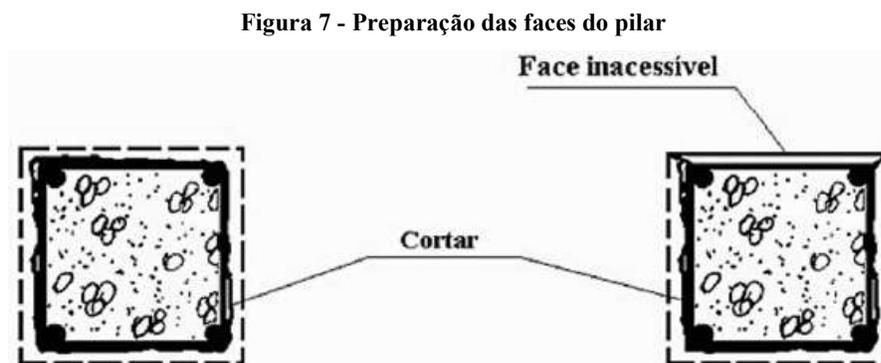
### 2.2.3 Etapas executivas

Segundo Souza & Ripper (1998), o procedimento adotado para o reforço de pilares vai depender de qual foi a causa do problema, como o pilar está posicionado, de razões estéticas e de qual material está disponível. Há casos que serão necessários apenas o aumento da seção transversal do aço, já outros além de um acréscimo de armadura, também será necessário o aumento da seção de concreto.

---

<sup>5</sup> HELENE, 2001

Alguns casos, não se tem acesso a todas as faces do pilar, então sua posição é um fator importante na hora da execução do reforço, de maneira que apenas as faces expostas serão reforçadas (SOUZA & RIPPER, 1998).



Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

As faces do pilar que serão submetidas ao reforço, devem ser preparadas para que receba o graute. Elas devem ser escariadas para garantir a perfeita aderência entre o concreto antigo e o novo que será injetado, a profundidade da escariação será apontada pelo projetista e normalmente corresponde ao cobrimento de armadura, que é de aproximadamente 3 centímetros.

Após a escariação, furos são feitos no pilar para que se ancore as barras de aço na estrutura existente. O posicionamento da armadura deve ser detalhado em projeto e checado antes de se montar as formas, conforme mostra a Figura 8.

Após o termino da armação, a próxima etapa é a montagem das formas para que seja lançado o graute. Elas devem estar completamente vedadas para que não haja vazamento do graute, uma vez que ele é um material extremamente fluído, conforme Figura 9.

**Figura 8 - Armadura de reforço estrutural**



Fonte: TECHNIQUES, 2017.

**Figura 9 - montagem das formas**



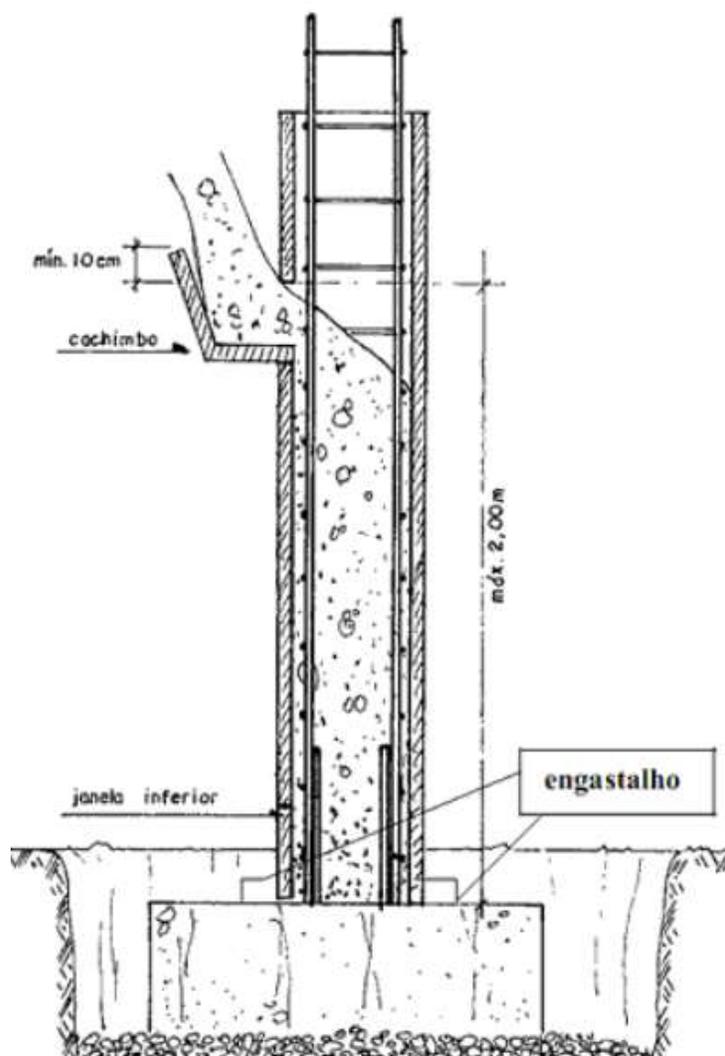
Fonte: LDB, 2014.

A NBR 14931 (ABNT, 2004) – “Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento”, dita como deve ser feita a execução adequada para esse tipo de reforço, que é semelhante aos procedimentos de execução de estruturas de concreto em geral.

### 2.2.3.1 Etapas Executivas

No reforço pelo sistema convencional, encontra-se uma dificuldade pois o pilar geralmente está concretado entre duas lajes e isso causa problemas na hora de fazer o lançamento do graute. Se houver espaço suficiente, deve-se fazer um “cachimbo” conforme mostrado na figura abaixo, na parte superior da forma para o lançamento. Caso não seja possível a execução desta maneira, deve-se abrir um furo na laje superior e lança-lo por lá.

**Figura 10 - lançamento de graute pelo Cachimbo**



Fonte: CONSTRUÇÃO CIVIL, 2012.

Outro problema é devido ao fato da extrema fluidez do graute, logo as formas devem ser vedadas ao máximo e caso necessário deve-se usar gesso para tapar possíveis buracos.

Ao fazer o escariamento da estrutura para recebimento do reforço, deve-se identificar com clareza onde estão as armaduras antigas, pois ao realizar os furos para o chumbamento da nova armadura, ela deve ser preservada. Os furos devem ser de diâmetro maior que a bitola do aço.

#### **2.2.4 Vantagens e desvantagens do uso do sistema**

Toda e qualquer obra de reforço estrutural possui suas vantagens e desvantagens, caberá ao projetista escolher qual será a melhor opção para que se tenha o máximo aproveitamento dos benefícios proporcionados pelo método escolhido

Segundo Mariano (2016) essas são algumas das vantagens e desvantagens que o método do aumento da seção transversal proporciona.

Vantagens:

- Facilidade na aquisição de materiais;
- Não há necessidade da demolição da estrutura existente.

Desvantagens:

- Perca de área livre devido ao aumento da seção transversal;
- Aumento considerável do peso próprio da estrutura;
- Consumo excessivo de materiais e mão de obra;
- Necessidade de grande quantidade de formas, escoras e materiais de transportes.

### **2.3 SISTEMA DE COMPÓSITOS DE FIBRAS DE CARBONO PARA A RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL**

Os compósitos podem ser construídos a partir da união de dois ou mais materiais, sejam eles metálicos, orgânicos ou inorgânicos. As formas de componentes mais usadas são fibras, partículas, laminas, flocos, fillers e matrizes. As matrizes servem para dar forma e unir os

macros componentes. Os materiais de reforço, determinam a estrutura interna do compósito (BEBER, 2003).

Os compósitos são classificados em três divisões: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras e compósitos estruturais. As propriedades dos compósitos dependem das propriedades das fibras e da matriz, assim faz com que as propriedades físicas e mecânicas alteram entre os diferentes tipos de compósitos, mesmo sendo do mesmo material, pois, tudo depende de como os compósitos foram estruturados.

A partir de três materiais orgânicos podemos produzir as fibras de carbono, são eles: rayon (polímero celulósico), poliacrilonitrila (PAN) e piche (alcatrão de petróleo ou de carvão) As características das fibras de carbono e os processos utilizados na fabricação dependem do material base usado para produzi-las (CALLISTER, 2007). As fibras de carbono apresentam coloração escura e permitem ser manipuladas durante o processo para obter resistências ou modulo de elasticidade mais elevados (GARCEZ, 2007). Quanto mais paralelos os eixos das fibras, mais alto seu modulo de elasticidade e resistência.

### 2.3.1 Histórico

A Suíça foi a pioneira em pesquisas sobre a aplicação de compósitos de fibras de carbono no reforço estrutural, no início da década de 80. No início da década de 90 as mantas e tecidos de fibras de carbono foram desenvolvidas pelos japoneses, através de sistemas curados “*in situ*”. Estes sistemas apresentam uma série de vantagens, principalmente nas atividades de estruturas sujeitas à ação de solicitações oriundas de terremotos (BEBER, 2003).

A maioria das aplicações dos reforços com chapas de fibras de carbono ocorreram na Europa, principalmente na Suíça. A primeira aplicação foi um reparo de uma ponte na cidade de Luzerna, em 1991. Um acidente envolvendo os cabos de protensão, que resultou na diminuição da capacidade portante da ponte, foi o motivo pelo qual houve a necessidade de recuperação da ponte. No Brasil, as primeiras aplicações envolvendo compósitos de fibras de carbono, ocorreram em estruturas de pequeno porte. O viaduto Santa Tereza, localizado em Belo Horizonte, foi reforçado com mantas flexíveis de fibra de carbono em 1998, a escolha das mantas originou-se pelo fato de ser um patrimônio histórico, e assim, não necessitaria de mudar aspectos estéticos (BEBER,2003).

### 2.3.2 Propriedades e características

O comportamento e as propriedades dos materiais compósitos dependem da natureza, da forma, arranjo estrutural e da interação entre os componentes ACI (1996<sup>6</sup> *apud* BEBER, 2003). A distribuição e a quantidade relativa de cada componente são fatores importantes que contribuem para o desempenho do compósito e dão aos materiais compósitos muito da sua versatilidade.

Os materiais compósitos não apresentam patamar de escoamento ou deformações plásticas, eles exibem um comportamento elástico linear até a ruptura. Os compósitos de fibra de carbono em matrizes de resina epoxídica apresentam, em comparação com o aço, para uma mesma espessura, um quarto do peso e resistência a tração oito a dez vezes maior, para o mesmo módulo de elasticidade ((BEBER, 2003; SOUZA & RIPPER, 1998).

Segundo Beber (2003), as fibras de carbono são predominantemente utilizadas por sua capacidade de alcançar grandes resistência e rigidez. Sua resistência a fadiga é geralmente muito superior a resistência dos metais e outros compósitos. Porém, a resistência a fadiga pode ser reduzida caso a resistência da matriz não for suficiente ou quando a sollicitação não é paralela à direção das fibras.

#### 2.3.2.1 Compósitos com Matriz Polimérica

Callister, (2007) diz que os compósitos com matriz polimérica dependem de uma resina polimérica como a matriz, com fibras como reforço.

A matriz envolve completamente a fase fibra, permitindo uma boa transferência de tensões. Os epóxis – plástico termofixo que se endurece quando se mistura com agente catalisador ou endurecedor - possuem melhores propriedades mecânicas e uma maior resistência à umidade do que outras resinas. Por esses motivos, se tornam mais caras. Para obter uma boa matriz epóxi, a mistura de componentes deve ser adequada, para fixar suas moléculas, componentes estes que são: a resina epóxi e o endurecedor (JUVANDES, 2002).

---

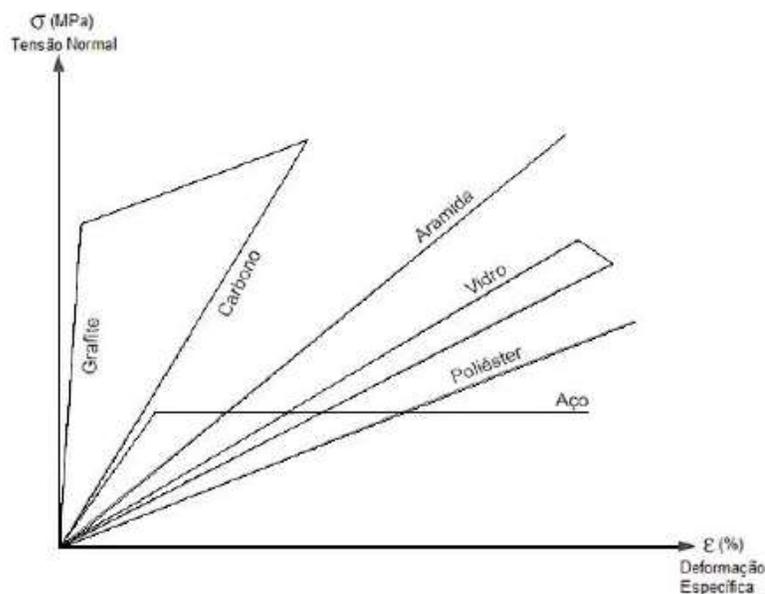
<sup>6</sup> ACI, 1996

### 2.3.3 Reforço estrutural utilizando compósitos de fibra de carbono

A fibra de carbono possui o maior módulo específico e a maior resistência específica dentre todas as fibras de reforço. As fibras são obtidas através de um processo térmico, quanto maiores forem as temperaturas, maior será o módulo de elasticidade do material. No entanto, quanto maior o módulo de elasticidade, maior o custo do processo (MACHADO, 2002).

A Figura 11 compara alguns materiais por meio dos diagramas tensão x deformação.

Figura 11 - diagrama tensão normal x deformação específica



Fonte: MACHADO, 2002.

Segundo Machado (2002), o sistema compósito com fibra de carbono pode ser utilizado para: recuperar elementos estruturais de concreto prejudicados por patologias ou reforçar elementos em boas condições, permitindo assim, o aumento das cargas solicitantes.

A maioria dos estudos realizados a respeito do reforço estrutural com fibra de carbono em pilares, foram utilizados modelos de seções transversal circular, pois, é mais efetivo.

O ângulo utilizado nos cantos dos pilares é que define o módulo de elasticidade e o aumento da resistência. Wang e Wu (2007) ensaiaram pilares de 300 mm de altura de seção quadrada, pilares com bordas arredondadas e pilares com seção circular. Dois tipos de ensaios

foram feitos: reforço com uma camada de fibra de carbono e reforço com duas camadas de fibras de carbono (SANTOS; ROSS & HABITZREUTER, 2013).

Nos pilares sem bordas arredondadas, não houve acréscimo significativo de resistência com a aplicação da fibra de carbono. Nos modelos que tinham bordas arredondadas, houve um aumento da resistência com uma camada de fibra e aproximadamente quatro vezes mais resistência com duas camadas de fibras. Esse estudo comprova que quanto maior o raio das bordas dos pilares, maior o ganho de resistência a compressão (SANTOS; ROSS & HABITZREUTER, 2013).

#### **2.3.4 Aplicações**

A aplicação do reforço através do compósito de fibra de carbono deve ser feita por profissionais qualificados para que seja obtido um resultado satisfatório.

Para Machado (2010), há uma sequência para a execução do reforço: recuperação da superfície, aplicação da resina de impregnação, aplicação da resina de laminação, aplicação do tecido de fibra de carbono, a aplicação da segunda camada de resina de laminação e acabamento.

As ferramentas utilizadas para a aplicação são: tesoura ou estilete, rolo de espuma e rolo metálico. Pode-se dividir o processo em duas etapas diferentes: a de preparação da superfície receptora e a de aplicação do compósito. A superfície do concreto precisa ser devidamente limpa, deve-se remover toda a sujeira e a fina camada de cimento que reveste os elementos de concreto, para permitir a absorção do primário a ser aplicado e conseqüentemente há a melhoria da camada de concreto da interface (SOUZA & RIPPER, 1998).

Souza & Ripper (1998) diz que caso existam imperfeições geométricas ou de execução ao longo da superfície a ser revestida, estes deverão ser reparados pela aplicação de argamassas expoxidicas alisadas a espátulas. Usualmente esta é a etapa que mais toma tempo na execução do reforço, a duração varia de acordo com as condições da superfície a ser tratada.

Uma marcação deve ser feita, no concreto, da projeção do material que será implementado, estas marcações devem ser feitas e os compósitos devem ser colocados de maneira mais precisa possível. Após o devido tratamento da superfície onde receberá o reforço, esta estará devidamente pronta para receber o compósito (BRONZE, 2016).

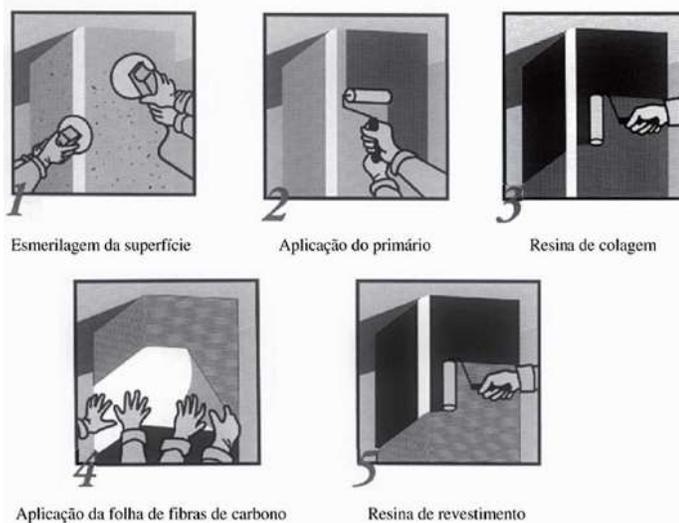
Um primer é então aplicado para a impregnação dos poros do concreto, para a garantia de uma ponte de aderência entre os elementos (BEBER, 2003). Aproximadamente uma hora depois de aplicado o primer, deverão ser aplicados: a resina de colagem, a folha flexível de fibras de carbono e a camada final de resina de revestimento das fibras (SOUZA & RIPPER, 1998). As folhas flexíveis devem ser desenroladas e cortadas previamente, evitando assim, perdas desnecessárias.

A colocação da fibra deve ser feita imediatamente após a saturação, pois o tempo de aplicação da resina é muito curto, no máximo 25 minutos, ainda é possível fazer reparos na posição das fibras nesse intervalo (MACHADO, 2010). A eventual aplicação de outras camadas é imediata, com a camada anterior servindo como base para as seguintes. Para aplicação das camadas sucessivas, é possível esperar até uma semana, desde que se aplique, sobre a resina endurecida, uma nova camada de resina fresca (SOUZA & RIPPER, 1998).

A quantidade de resina aplicada deve ser controlada de acordo com as especificações do fabricante, pois o desempenho estrutural pode ser comprometido dependendo da espessura da camada de epóxi, que não pode ser muito fina nem muito grossa (BEBER, 2003).

O tempo de cura do reforço estrutural da fibra deve ser verificado com o fabricante. Para fins estéticos, uma forma de acabamento será necessária, pode ser concreto projetado ou pintura, acabamentos estes que também deverão ser indicados pelos fabricantes (SANTOS; ROSS & HABITZREUTER, 2013).

**Figura 12 - sistema de aplicação das folhas flexíveis de fibra de carbono**



Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

### 2.3.5 Vantagens e desvantagens de reforço com Compósitos de Fibra de Carbono

É possível ter mais de uma solução para todos os problemas estruturais. A escolha da solução dependerá, em último caso, do custo de cada alternativa. O reforço com compósitos é bem parecido com a técnica de chapa colada, mas, não é somente uma forma melhorada desta técnica. O reforço com compósitos deve ser considerado uma alternativa promissora de reforço, agregando vários benefícios e vantagens através de sua utilização (BEBER, 2003).

O reforço com MCFC é altamente atrativo pelo fato de ser um reforço de simples, rápida e eficaz aplicação. Perfeito para obras que já estão em uso ou inacabadas. De acordo com Bronze (2016), reforços com fibra de carbono são bem mais leves, é possível gerar os mesmos ganhos de resistência do que outras técnicas com uma quantidade bem inferior de material. É possível aumentar a resistência do compósito apenas por variar as proporções de fibra e resina, modificando as propriedades do compósito.

Além da facilidade, praticidade e de uma diminuição nos custos no transporte, uma economia enorme acontece na instalação, pois pode dispensar equipamentos pesados para seu posicionamento e escoramento (BEBER, 2003).

A maleabilidade oferecida pelo compósito também é uma característica vantajosa. Eles permitem o uso em locais mais complexos onde a utilização de outras formas de reforço seria quase impossível (BRONZE, 2016).

O reforço com a fibra se torna muito mais rápido por conta de sua facilidade de execução e de manipulação, ao contrário de outras técnicas de reforço. Sua resistência à corrosão também se torna uma vantagem, já que dispensa uma série de cuidados que seriam necessários caso a escolha do reforço seja outra (BEBER, 2003).

Ainda assim, esse sistema de reforço possui suas desvantagens. São elas a incompatibilidade do material com uma superfície irregular, sua baixa resistência ao fogo e à exposição aos raios ultravioletas e o elevado custo do material (MACHADO, 2010).

O elevado custo do material é compensado pela simplicidade de execução e rapidez, já que o custo de equipamentos, mão de obra e transporte acaba sendo reduzido. Já a questão quanto à resistência ao fogo e temperaturas elevadas pode ser reduzido com proteções adequadas (BRONZE, 2016).

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentado o programa experimental, a caracterização dos materiais a hipóteses utilizada e a descrição dos procedimentos utilizados.

#### 3.1 MÉTODO DE DOSAGEM E MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

O método escolhido para a montagem dos corpos de prova (CP) foi o método experimental ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para concretos semi-plásticos. Para a realização desse método foi necessário a informação da massa específica e unitária dos agregados tanto graúdo quanto miúdo, dimensão máxima característica do agregado graúdo, a análise granulométrica do agregado miúdo e resistência máxima estimada do concreto ao final da cura. Obteve-se um traço de 1: 1,69: 2.24: 0,54 (cimento, areia, brita 0 e água) para que o concreto alcançasse a resistência a compressão aos 28 dias com 20MPa e o mesmo foi utilizado para a moldagem de 15 CPs.

Os moldes utilizados foram cilíndricos com dimensões de 10cm de diâmetro por 20cm de altura como se pode ver na figura 13 logo abaixo:

**Figura 13 - Moldes para confecção dos CP's**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Antes do preenchimento do CP com concreto, primeiro foi passada uma camada de óleo vegetal por dentro para que a desmoldagem no outro dia fosse mais fácil, sem que o concreto prendesse nas laterais. De acordo com NBR 9479 (ABNT, 2006) para CP's de 10cm de

diâmetro, o número de camadas de concreto colocadas no CP para o adensamento manual são 2 e o número de golpes são 12.

### 3.2 ESCOLHA DOS MATERIAIS

Os agregados que foram utilizados já estavam disponíveis no laboratório da faculdade, foram eles: brita 0 (figura 14), areia fina (figura 15) e cimento CP II-z-32.

**Figura 14 - Brita 0 utilizada na confecção dos corpos de prova**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 15 – Areia fina utilizada na confecção do concreto**



Fonte: Próprios autores, 2017.

### 3.3 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

O ensaio foi realizado conforme NBR 7211 (ABNT, 2009) e NBR NM 248 (NBR, 2003). Para a realização do ensaio de granulometria da brita, foram utilizadas as peneiras 19mm, 12,5mm 9,5mm 4,75mm e 2,36mm da série normal, uma balança e recipiente para pesagem do material (bandeja), conforme especificado na NBR 7211 (ABNT, 2009). Houve a utilização do vibrador de peneira (figura 18). Resultados da quantidade de brita retida em cada peneira apresentados na tabela 3.

**Figura 16 – Peneiras – ensaio de granulometria da brita**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Tabela 3 - Quantidade de brita retida nas peneiras**

Abertura Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Ensaio	
		Simples	% retidas Acumuladas
19	0	0.0	0.0
12.5	37	1.9	1.9
9.5	499	25.0	26.8
4.75	1446	72.3	99.1
2.36	18	0.9	100.0
Prato	0	0.0	100.0
<b>TOTAIS</b>	<b>2000</b>	<b>100</b>	<b>-</b>

Fonte: Próprios autores, 2017.

Para a realização do ensaio de granulometria da areia, foram utilizadas as peneiras 2,36mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,3mm e 0,15mm da série normal, uma balança e recipiente para pesagem do material (bandeja), conforme especificado na NBR 7211 (ABNT, 2009) e mostrado na Figura 17. Não houve a utilização do vibrador de peneira, processo feito manualmente. Resultados da quantidade de areia retida em cada peneira apresentados na tabela 4.

**Figura 17 – Peneiras – ensaio de granulometria da areia**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Tabela 4 - Quantidade de areia retida nas peneiras**

Abertura Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Ensaio	
		Simples	% retidas Acumuladas
2.36	8.0	2.7	2.7
1.18	16.0	5.3	8.0
0.600	56.0	18.7	26.7
0.300	153.0	51.0	77.7
0.150	57.0	19.0	96.7
Prato	10.0	3.3	100.0
<b>TOTAL</b>	<b>300.0</b>	<b>100.0</b>	-

Fonte: Próprios autores, 2017.

### 3.4 ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Após moldagem dos CPs, é esperado 24h para a desmoldagem e depois os mesmos são levados para uma câmara úmida e a cura é feita lá até 28 dias para que o concreto atinja sua resistência máxima.

**Figura 18 – Cura dos CP's na câmara úmida**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Foram feitos ensaios de compressão com 7 e 28 dias para verificar se a resistência obtida foi de acordo com a calculada. Esperava-se resistência inicial de 7 dias cerca de 60% da final que deveria chegar a 20 MPa, resultado obtido com êxito, uma vez que 2 corpos de prova foram rompidos chegando em média a 18 MPa, maior que o esperado. Com 28 dias mais 3 CPs foram rompidos para determinar a resistência do concreto no fim do seu tempo de cura, resultados foram satisfatórios pois esperava-se em torno de 20 MPa e chegou em média a 22 MPa. Em baixo a figura 19 que mostra um CP rompido e a tabela 5 com todos os resultados obtidos no ensaio de compressão dos CPs:

**Figura 19 – Rompimento do corpo de prova**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Tabela 5 - Resultados ensaio a compressão**

<b>Corpos de Provas</b>			
<b>Id. CP</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Tensão Ruptura</b>	<b>Carga Ruptura</b>
1	7	17,1 (MPa)	13.690 (kgf)
2	7	19,3 (MPa)	15.490 (kgf)
3	28	22,1 (MPa)	17.690 (kgf)
4	28	23,3 (MPa)	18.690 (kgf)
5	28	21,9 (MPa)	17.520 (kgf)
<b>Média</b>		<b>20,74 (MPa)</b>	<b>16.616 (kgf)</b>

Fonte: Próprios autores, 2017.

### 3.5 MÉTODOS DE REFORÇO UTILIZADOS NOS CORPOS DE PROVA

#### 3.5.1 Reforço estrutural pelo aumento de seção transversal

Para o método de reforço pelo aumento de seção transversal, foi utilizado graute da marca quartzolit 20 kg. Foi seguido rigorosamente as instruções do fabricante para obter maior rendimento sem a perda de resistência do produto, é recomendado a utilização de 20 % de agregado graúdo em relação a massa total de graute utilizado, como foi feito 20 kg de mistura, misturou-se 6 kg de brita com dimensão máxima de 12,5mm e, adicionou-se 10% de água devido a esse acréscimo. O fabricante também recomenda a utilização de 2,2 kg de água para cada 20 kg de graute, com variação de 5% para mais ou para menos.

**Figura 20 – Graute utilizado no método de reforço de aumento de seção**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Na preparação, o pó foi colocado em um carrinho de mão, acrescido da brita para que fosse feita a mistura a seco, depois então adicionando 2/3 de água e misturado por cerca de 3 minutos, adiciona-se o restante da água e mistura por mais 3 minutos, manualmente, até chegar a sua fluidez máxima.

**Figura 21 – Graute e brita 0**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 22 – Mistura concluída**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Foram feitos mais 2 CPs afim de calcular a resistência isolada do graute com 24h e 72h, períodos estes fornecidos na embalagem do produto. Foi utilizado 3 corpos de prova com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, com resistência final de 22 MPa e colocados em moldes de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura, para ser feito a adição de graute, aumentando a área efetiva do molde de 0,0078 m<sup>2</sup> para 0,0176 m<sup>2</sup>, de modo que o concreto passe a resistir a uma carga axial maior.

**Tabela 6 – Resultados de resistência a compressão fornecidos pelo fabricante**

DIAS	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO
1 DIA	25 MPa
3 DIAS	35 MPa
28 DIAS	50 MPa

Fonte: QUARTZOLIT, 2017.

### **3.5.2 Reforço estrutural utilizando mantas de Compósitos de Fibra de Carbono**

A aplicação do sistema de reforço com MCFC é um processo muito delicado e importante para que o resultado esperado seja alcançado, para isso foi utilizado rigorosamente a indicação do fabricante. Foi utilizada resina epóxi 2001 da marca Redelease (figura 23) e endurecedor epóxi 3154 (figura 24) da mesma marca. A relação de resina epóxi para o endurecedor é de 200g para 100g respectivamente.

**Figura 23 - Resina Epóxi**

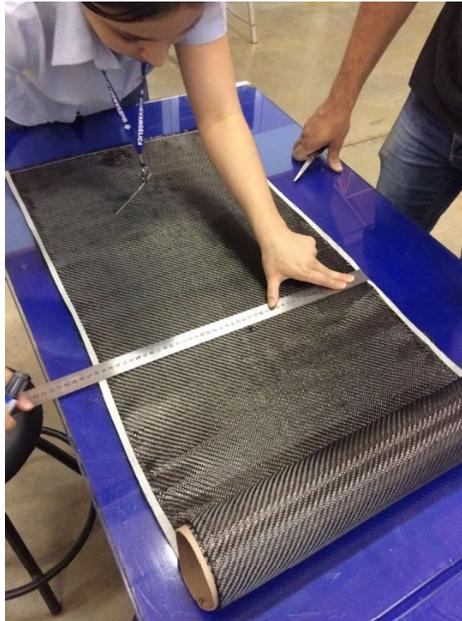
Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 24 - Endurecedor**

Fonte: Próprios autores, 2017.

Antes da mistura da resina com o endurecedor, é recomendado preparar a manta para a aplicação da mesma. A manta foi cortada em pedaços de 20cm por 31,4cm, o tamanho exato necessário para cobrir toda a circunferência do CP.

**Figura 25 - Manta de fibra de carbono**



Fonte: Próprios autores, 2017.

A mistura da resina epóxi juntamente com o endurecedor foi feita em um becker plástico, para evitar a contaminação, e em seguida aplicada no CP. Os CPs precisam estar secos e a superfície regularizadas para evitar entrada de ar no momento da aplicação da manta.

**Figura 26 - Mistura da resina e endurecedor**



Fonte: Próprios autores, 2017.

A aplicação foi feita de forma ágil pois o endurecimento é em torno de 18 minutos.

**Figura 27 - Aplicação da resina**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Tomando os devidos cuidados, após a impregnação com a resina, foi aplicada a manta sobre o CP e mais uma camada de resina sobre a manta. Foram cobertos três CPs com duas voltas de MCFC e dois CPs com uma volta, para obter uma média de resultado.

**Figura 28 - CPs reforçados com MCFC**



Fonte: Próprios autores, 2017.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e a discussão sobre os mesmo para fins de compreensão e cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho. Realizou-se os ensaios do programa experimental no laboratório do Centro Universitário da UniEvangélica, Anápolis-GO e os posteriores aos resultados obtidos conjunto com os objetivos propostos.

### 4.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO DO REFORÇO PELO MÉTODO CONVENCIONAL

Após 24h, foi desmoldado os CP's, tanto os com apenas graute quanto os que tiveram a seção aumentada, feito o ensaio de compressão dos mesmos, fazendo a primeira verificação de resistência. O corpo de prova feito apenas com graute, obteve com 24h, resistência a compressão de 51,5 MPa, valor maior que o informado pelo fabricante. Já o segundo CP foi rompido com 3 dias chegando ao valor de 68,7 MPa. Segue tabela 7 com valores obtidos:

**Tabela 7 - Ensaio a compressão dos CPs com apenas graute**

Graute			
Id. CP	Idade (dias)	Tensão Ruptura	Carga Ruptura
1	1	51,5 (MPa)	41.280 (kgf)
2	3	68,7 (MPa)	55.040 (kgf)

Fonte: Próprios autores, 2017.

Já o que teve sua área aumentada, possuía cerca de 22 MPa de resistência a compressão e, após a adição do graute, chegou a 31 MPa com apenas 24 horas, um ganho bastante significativo comprovando a eficácia do tipo de reforço. Os outros 2 corpos de prova rompidos com 3 dias obtiveram resultados maiores, porém com pouca diferença do que foi rompido com 1 dia pois o graute é um cimento especial de alta resistência inicial, logo seu ganho de tensão após 1 dia é pequeno. Resultados de todos os CPs rompidos apresentados na tabela 8 em seguida:

**Figura 29 – CP rompido feito apenas com graute**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Tabela 8 - Ensaio a compressão com aumento de seção transversal**

Reforço Com Graute			
Id. CP	Idade (días)	Tensão Ruptura	Carga Ruptura
1	1	31,0 (MPa)	55.820 (kgf)
2	3	32,3 (MPa)	58.260 (kgf)
3	3	37,3 (MPa)	67.190 (kgf)

Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 30 – Rompimento do CP que teve área aumentada**



Fonte: Próprios autores, 2017.

## 4.2 REFORÇO ESTRUTURAL UTILIZANDO MANTAS DE COMPÓSITOS DE FIBRA DE CARBONO

Os CPs reforçados com MCFC foram rompidos com 5 dias. Dois deles com 1 volta e obteve-se em média 39 MPa de resistência, porém tem que se levar em consideração que houve uma grande diferença de um para o outro. Percebe-se que houve erro de execução que prejudicou a resistência do primeiro CP que chegou a 34,2 MPa enquanto o segundo chegou a 43,7 MPa e outros 3 CPs com 2 voltas que resistiram em média a 53 MPa. A tabela 9 nos mostra os resultados obtidos em cada CP.:

**Tabela 9 - Ensaio a compressão com reforço com MCFC**

Reforço Com Fibra de Carbono				
Id. CP	n° de voltas	Idade (dias)	Tensão Ruptura	Carga Ruptura
1	1	5	34,2 (MPa)	27.400 (kgf)
2	1	5	43,7 (MPa)	34.990 (kgf)
3	2	5	54,7 (MPa)	43.830 (kgf)
4	2	5	53,0 (MPa)	42.480 (kgf)
5	2	5	51,9 (MPa)	41.550 (kgf)

Fonte: Próprios autores, 2017.

As figuras 31 e 32 mostram os CPs reforçados com MCFC antes e depois do rompimento.

**Figura 31 – CP reforçado com MCFC**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 32 – CP reforçado com MCFC rompido**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Pode-se notar que o rompimento ocorreu sempre na emenda da manta, tornando assim um local crítico do reforço com MCFC. A figura 33 nos mostra nitidamente onde ocorreu o rompimento do CP revestido com a MCFC.

**Figura 33 – CP reforçado com MCFC rompido**



Fonte: Próprios autores, 2017.

### 4.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

#### 4.3.1 Comparação entre os CPs feitos com cimento CP II-Z-32 e Graute

O traço usado nos corpos de prova com cimento CP II-Z-32 obteve êxito, uma vez que o traço de 20 MPa foi alcançado e ainda obteve tensão um pouco maior do que o calculado. Os corpos de prova feitos apenas com graute, também obtiveram êxito, pois as resistências obtidas foram maiores que as fornecidas pelo fabricante do graute.

Percebe-se a superioridade absoluta do graute em relação ao cimento comum, tanto em sua resistência inicial quanto na final. Segue tabela 10 com resultados.

**Tabela 10 - Comparativo de resistência entre CPs com Cimento CP II-Z-32 e Graute**

CP Cimento			CP Graute		
Dias	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Dias	Tensão Ruptura	Carga Ruptura
7	17,1 (MPa)	13.690 (kgf)	1	51,5 (MPa)	41.280 (kgf)
7	19,3 (MPa)	15.490 (kgf)	3	68,7 (MPa)	55.040 (kgf)
28	22,1 (MPa)	17.690 (kgf)			
28	23,3 (MPa)	18.690 (kgf)			
28	21,9 (MPa)	17.520 (kgf)			

Fonte: Próprios autores, 2017.

#### 4.3.2 Comparação de resultados entre os CPs com seção aumentada, 1 volta de MCFC e 2 voltas de MCFC.

O método de reforço pelo aumento de seção transversal, como já dito a cima tem algumas desvantagens, como dificuldade executiva e a parte de perder espaço útil na arquitetura. Se comparado com o reforço com MCFC, ele também perde em questão de ganho de tensão. Pode-se observar que enquanto um chegou a mais ou menos 32 MPa, o reforçado com MCFC chegou a 43 MPa com 1 volta e 53 MPa com 2 voltas. Porém, a carga de ruptura do CP com aumento de seção é bem maior que o que foi reforçado com as mantas de fibra de carbono, pois devido a sua maior área, foi necessário uma maior carga para chegar a uma determinada tensão, logo precisa ser estudado o porquê de estar utilizando um reforço estrutural em determinada peça, para então saber qual o mais recomendado. Segue tabela 11 com resultados.

**Tabela 11 - Comparativo de resistência entre CPs com aumento de seção, 1 volta de MCFC e 2 voltas de MCFC**

CP Aumento de Seção			CP CMFC 1 Volta			CP CMFC 2 Voltas 5		
Dias	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Dias	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Dias	Tensão Ruptura	Carga Ruptura
1	31,0 (MPa)	55.820 (kgf)	5	34,2 (MPa)	27.400 (kgf)	5	54,7 (MPa)	43.830 (kgf)
3	32,3 (MPa)	58.260 (kgf)	5	43,7 (MPa)	34.990 (kgf)	5	53,0 (MPa)	42.480 (kgf)
3	37,3 (MPa)	67.190 (kgf)				5	51,9 (MPa)	41.550 (kgf)

Fonte: Próprios autores, 2017.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Técnicas de reforço estrutural é de grande valor, pois é um tema sempre atual e necessário para a sociedade, haja visto que o concreto armado é o material mais utilizado com função estrutural no mundo. Através da visão adquirida durante o procedimento experimental, constatou-se que há várias técnicas possíveis de utilização, porém, há também uma diferença de resultado discrepantes entre elas, precisando então ser observado a aplicação de cada técnica em cada caso de necessidade. Portanto, ao considerar-se isoladamente o aspecto monetário, nota-se uma grande diferença em relação aos custos dos serviços, sendo o reforço com MCFC cerca de quatro vezes mais caro que o custo do reforço com aumento de seção. Foi gasto R\$230,00 para o reforço de 5 CPs, sendo utilizados 8 voltas de MCFC, custando em média 29 reais para cada volta de MCFC. Enquanto 20kg de graute custou R\$30,00, podendo reforçar em média 4 CPs, custando em média 7,5 reais cada CP reforçado.

Apesar da grande facilidade de transporte da MCFC, não é um material de fácil acesso, por ser um método relativamente novo no Brasil, existem poucos fornecedores e poucos lugares onde são confeccionadas estas mantas no país. O graute, por sua vez, pode ser facilmente encontrado em casas de materiais de construção.

O uso do sistema de reforço com MCFC necessita de mão de obra treinada e uma fiscalização rigorosa, pois, o mal manuseio da resina e da manta pode comprometer o reforço podendo haver problemas de aderência. Notou-se que o rompimento ocorreu sempre na emenda da MCFC, portanto concluiu-se que esse é um local crítico e é necessário tomar o devido cuidado ao colocar a manta, recomenda-se deixar uma sobreposição para garantir a devida aderência. O sistema de aumento de seção necessita de mão de obra especializada também, já que será necessário o uso de formas e equipamentos adequados para o aumento da seção do pilar.

O sistema de reforço com uma volta de MCFC, aumentou em cerca de 95% a resistência, pois passou de 23,3 MPa (CP com maior resistência) para 43,7MPa (CP com maior resistência) aumentando em torno de 87,5% a resistência final, já o que teve duas voltas de MCFC passou de 23,3 MPa para 54,7 MPa (CP com maior resistência) aumentando cerca de 134,7%. Já o sistema de aumento de seção aumentou a resistência à compressão do CP em torno de 60,1%, fazendo com que o sistema de MCFC seja o mais eficiente quando o aumento de resistência à compressão for o objetivo do reforço. Lembrando que o reforço com MCFC não pode ser executado em quaisquer circunstâncias, por exemplo, uma peça de concreto que já está em estado avançado de degradação não deve receber esse tipo de reforço.

## 5.1 SUGESTÕES FUTURAS

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se os estudos da quantidade de voltas, espessura, quantidade de resina ideal para alcançar uma boa resistência. Criar um manual de aplicação baseado nisso.

Recomenda-se também um estudo mais aprofundado de comparação de pilares de seção circular e pilares de seção retangular para comprovar que é necessário remover as quinas dos pilares de seção retangular antes de utilizar esse sistema de reforço.

Estudos comparativos de aplicações nas duas direções para obter a melhor forma de aplicação da manta.

Um estudo de situações em que cada reforço é mais recomendado a ser utilizado ajudará engenheiros a tomarem decisões corretas quando for necessário o uso de reforço estrutural.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR NM 248: Agregados determinação da composição granulométrica.** 2003

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento.** 2014

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** 2009

\_\_\_\_\_. **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação.** 2014

\_\_\_\_\_. **NBR 9479: Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpo-de-prova.** 2006

\_\_\_\_\_. **NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e projeto.** 2010

\_\_\_\_\_. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – procedimento.** 2004

\_\_\_\_\_. **NBR 15575: Norma de Desempenho.** 2013

\_\_\_\_\_. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – procedimento.** 2004

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma de Desempenho: NBR15575.** 2013

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

AECWEB. **PATOLOGIAS DO CONCRETO.** Disponível em:

<[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto\\_6160\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0)>. Acesso em: 23 maio 2017.

ADORNO; DIAS; SILVEIRA. **Recuperação e Reforço de Vigas de Concreto Armado.** Monografia para o Curso em Engenharia Civil. Goiânia, 2015.

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

BRONZE, R. A. **Estudo Comparativo: uso dos Sistemas de Fibras de Carbono e Sistema Convencional para Reforço de Estruturas de Concreto**. Monografia (Graduação em engenharia civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte/MG: 2016. 41p.

CALLISTER. W. D. **Materials Science and Engineering**. John Wiley & sons, Inc. 2007.

CASTRO. T. F. C. **Manutenção em estruturas de Concreto Armado baseado no conceito de Manutenção centrada em Confiabilidade**. Monografia. São Paulo, 2016.

CIVIL, CONSTRUÇÃO. **CONCRETAGEM NOS PILARES**. Disponível em:  
< <http://construcaociviltips.blogspot.com.br/2012/04/concretagem-nos-pilares.html>>. Acesso em: 22 junho 2017.

CONCRETO, Portal do. **ADITIVOS PARA CONCRETO**. Disponível em:  
<<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/aditivo.html>>. Acesso em: 22 maio 2017.

ENGENHARIA, Escola. **O QUE É CONCRETO ARMADO?**. Disponível em:  
< <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>>. Acesso em: 17 maio 2017.

GARCEZ, M. R. **Alternativas para Melhoria no Desempenho de Estruturas de Concreto Armado Reforçadas pela Colagem de Polímeros Reforçados com Fibras**. Tese de doutorado em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2007.

GEOFOCO. **O QUE É GRAUTE?** 2014. Disponível em:  
< <http://geofoco.com.br/o-que-e-graute-anchorgROUT/>>. Acesso em: 20 maio 2017.

HABITISSIMO. **ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO**. Disponível em:  
< [https://fotos.habitissimo.com.br/foto/estrutura-em-concreto-armado\\_1074840](https://fotos.habitissimo.com.br/foto/estrutura-em-concreto-armado_1074840)>. Acesso em: 23 maio 2017.

HELENE, P. R. L. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto**. Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos, 2001.

JUVANDES, L.F.P. **Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002. Licenciatura em Engenharia Civil.

LDB. **REFORÇO ESTRUTURAL**. Disponível em: < <http://www.ldb.pt/reforco-estrutural/>>. Acesso em: 23 maio 2017.

MACHADO, A. P. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. São Paulo, 2010.

MARIANO, J. R. **Recuperação Estrutural com Ênfase no método da Protensão Externa.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da UFMG. Rio de Janeiro/RJ: 2016. 78p.

PIANCASTELLI, E.M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado.** Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da UFRG, Belo Horizonte, 1997.

SANTOS; ROSS; HABITZREUTER. **Análise da Eficiência do Reforço Estrutural com Fibra de Carbono em Pilares Curtos.** Trabalho de conclusão de Curso em Engenharia Civil. Curitiba, 2013.

SOUZA, V. C. M; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Editora PINI, 1998.

TECHNIQUES. **RECUPERAÇÃO, REFORÇO E PROTENSÃO DE ESTRUTURAS.** Disponível em: < <http://techniques.com.br/>>. Acesso em: 23 maio 2017.

## ANEXO A – REFORÇO COM GRAUTE



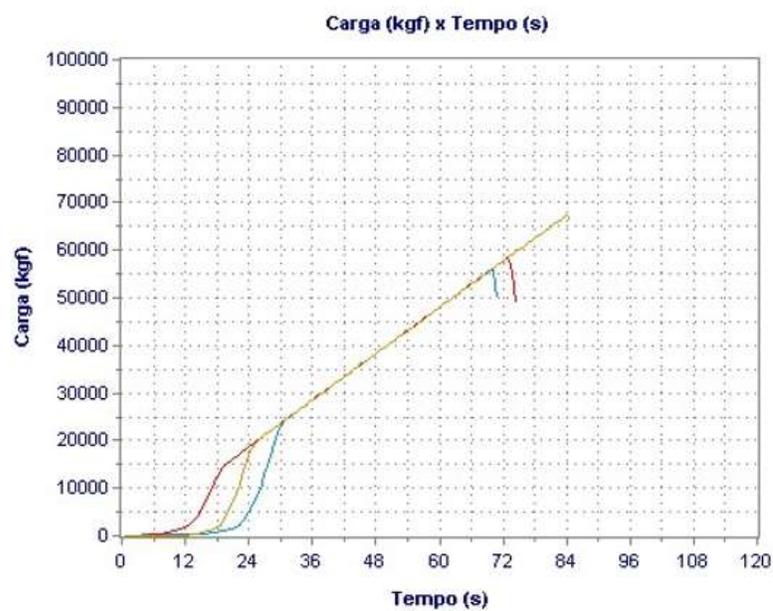
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Reforço com graute  
Tipo de ensaio: Compressão Axial  
Cliente:  
Responsável:  
Data de Moldagem: 10/10/2017

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
Distância fixação extensômetros:



## ANEXO B – REFORÇO COM FIBRA DE CARBONO



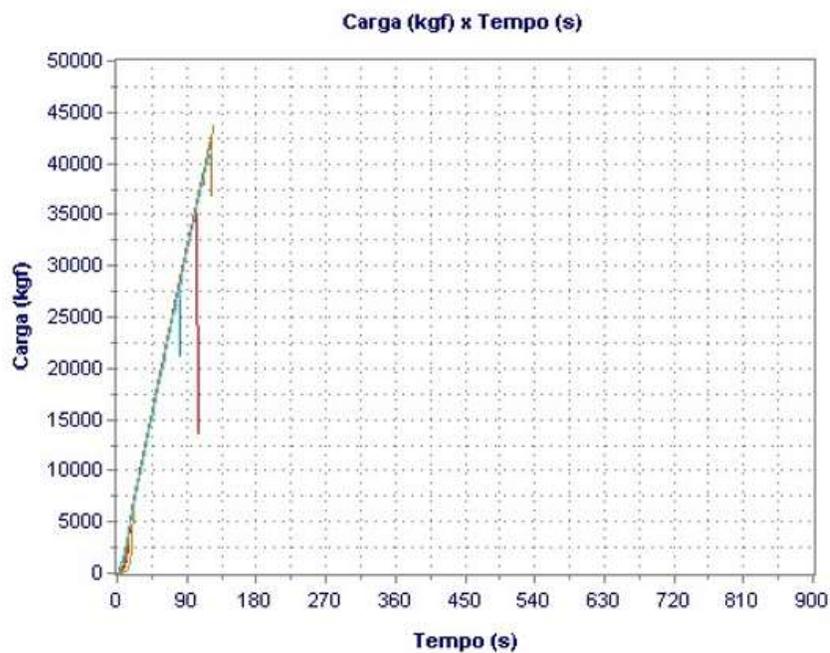
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

**Dados Cadastrais da Amostra**

Amostra: Reforço com fibra de carbono  
Tipo de ensaio: Compressão Axial  
Cliente:  
Responsável:  
Data de Moldagem: 11/10/2017

**Dados Complementares**

Tensão ruptura prevista:  
Distância fixação extensômetros:



## ANEXO C – CP APENAS COM GRAUTE



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

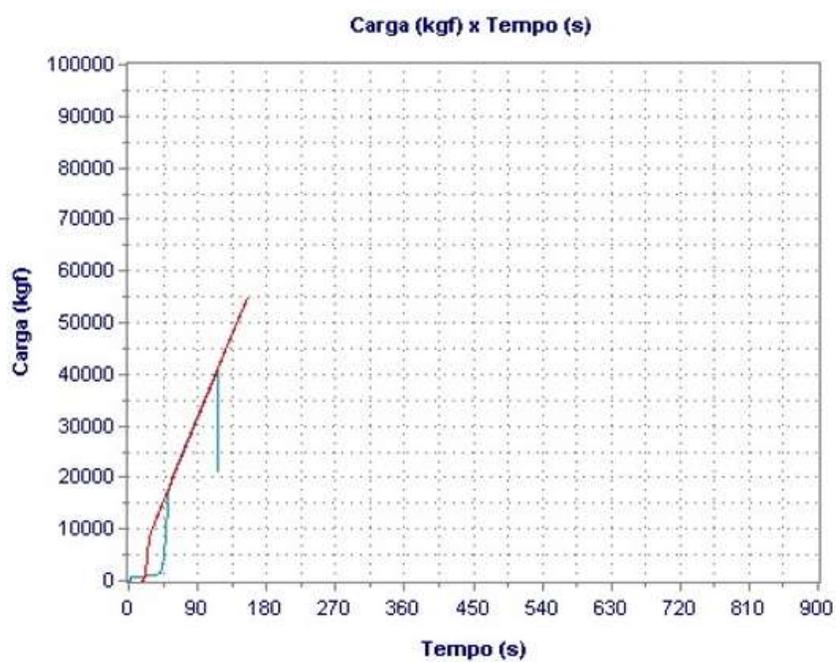
**Dados Cadastrais da Amostra**

Amostra: Graute  
Tipo de ensaio: Compressão Axial  
Cliente:  
Responsável:  
Data de Moldagem: 10/10/2017

**Dados Complementares**

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação extensômetros:



## ANEXO D – CP COM CONCRETO COMUM



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

**Dados Cadastrais da Amostra**

Amostra: cp  
Tipo de ensaio: Compressão Axial  
Cliente:  
Responsável:  
Data de Moldagem: 31/08/2017

**Dados Complementares**

Tensão ruptura prevista:  
Distância fixação extensômetros:

