

Reforço Estrutural com a utilização de Fibra de carbono

Structural Reinforcement With the Use of Carbon Fiber

DOI:10.34117/bjdv7n1-265

Recebimento dos originais: 11/12/2020

Aceitação para publicação: 11/01/2021

Edinéia Alves Benjamin

Pós-graduação Lato senso em Estruturas de Concreto e Fundações pela UNIP-
Universidade Paulista

Instituição: Professora na rede de ensino Genoma

Endereço: Rua Realino Pinheiro da Silva, 121- Clube Residencial, Igarapé, MG

E-mail: neiaengenharia@gmail.com

Geraldo César Lamêgo

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da UFMG.

Instituição: Consultor Autônomo.

Endereço: Rua João Gualberto Filho, 802- Sagrada Família, Belo Horizonte, MG

E-mail: cesarlamego@yahoo.com.br

RESUMO

O presente estudo busca analisar a literatura existente e as técnicas empregadas na reabilitação de estruturas de concreto armado com fibra de carbono. As reabilitações e reforços das estruturas visam prolongar a vida útil das mesmas, sem que seja, necessária à reconstrução de novas obras, buscando diminuir o consumo de materiais, diminuindo a produção de resíduos para o meio ambiente. A utilização de compósitos de fibra de carbono se destaca como o mais apropriado para a recuperação e reforços das estruturas de concreto armado. Mas no Brasil seu uso é recente e carece de norma segundo a NBR, para solucionar dúvidas. A metodologia desse trabalho é baseada em uma pesquisa bibliográfica descritiva e análise teórica associada a exemplo de aplicação.

Palavra-Chave: Estrutura de Concreto, Manifestação Patológica, durabilidade, vida útil, Reforço, Compósito, Matriz, Fibra de Carbono.

ABSTRACT

The present study seeks to analyze the existing literature and the techniques used in the rehabilitation of reinforced concrete structures with carbon fibers. The rehabilitation and reinforcement of the structures aim to prolong their useful life, without the need to rebuild new works, seeking to reduce the consumption of materials, reducing the production of waste for the environment. The use of carbon fiber composites stands out as the most appropriate for the recovery and reinforcement of reinforced concrete structures. But in Brazil its use is recent and lacks a standard according to NBR, to settle doubts. The methodology of this study is based on a descriptive literature and theoretical analysis associated with application examples.

Keywords: Concrete Structures, Pathological Manifestation, Durability, Lifetime, Reinforcement, Composite, Matrix, Carbon Fibers.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados em todo mundo desde os primórdios e sendo sua aplicação as mais diversas. Ao longo dos anos muito se evoluiu tecnicamente no tratamento dado a esse material de grande importância nas construções, como por exemplo, ocorreram melhorias relacionadas aos materiais utilizados para sua confecção, qualificação da mão de obra dentre outros fatores que foram de suma importância para se ter um material mais durável e que atenda às solicitações para o qual foi projetado.

Para a ABNT NBR 6118:2014, durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração dos projetos”. A mesma norma ainda esclarece que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente a sua vida útil”.

A partir das definições apresentadas pode-se observar à importância de se analisar de uma maneira ampla as questões que fazem com que as estruturas apresentem o desempenho esperado e um comportamento desejado ao usuário atendendo às exigências previstas em norma.

Mesmo com todos os avanços tecnológicos de materiais, melhorias nos processos de execução e qualificação de mão de obra ao longo dos anos, as estruturas de concreto apresentam diversas patologias e intervenções como reforço ou recuperação estrutural têm sido necessárias para que essas estruturas não entrem em colapso.

De acordo com Souza e Ripper (1998) algumas técnicas convencionais são comumente utilizadas para reforço estrutural como adição de chapas metálicas e as que envolvem adição de armadura tendo assim um aumento da seção transversal. Com o passar dos anos alternativas foram sendo utilizadas para reforço das estruturas, em substituição a essas técnicas surgiram os CFC (Compósito de Fibra de Carbono) seja recuperando as estruturas ou melhorando sua capacidade de resistência através de técnicas de reforço. A utilização na construção civil da fibra de carbono se deu no distrito de Kobe, Japão em 1995, após sismos demandarem uma rápida execução de reforços nas estruturas de construções na região.

Nos últimos anos compósitos de fibra de carbono tem sido muito utilizado devido sua alta resistência, baixo peso, facilidade no manuseio, reduzindo assim o tempo de trabalho. (GUDONIS ET AL.; 2013)

Com isso esse artigo tem como objetivo apresentar o compósito de fibra de carbono como um importante material a ser utilizado como reforço estrutural nas estruturas de concreto armado e suas principais etapas executivas.

2 ESTRUTURAS DE CONCRETO

2.1 CONCEITOS

Segundo METHA e MONTEIRO (2014) a definição sobre concreto armado é a seguinte “o concreto que normalmente contém barras de aço, que é projetado sob a premissa de que os dois materiais atuam juntos na resistência às forças de tração”. A ABNT NBR 6118:2014 define que os elementos de concreto armado como “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e a armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização da aderência”.

A mesma norma também define que essa armadura deve estar em estado passivo, ou seja, não deve ser previamente alongada (protendida) antes da concretagem.

2.2 PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Conforme a ABNT NBR 14931: 2004, as execuções das estruturas seguem basicamente três etapas: montagem de fôrmas, montagem da armação e concretagem. Cada um desses processos irá exigir uma série de procedimentos para que tenhamos uma estrutura a que venham atender os requisitos de norma e projeto.

Ainda conforme a ABNT NBR 14931:2004 é primordial que os materiais tenham um devido controle tecnológico para que apresentem o resultado esperado após sua execução. As armaduras precisam ser bem protegidas até sua utilização para evitar processos de oxidação no aço, é necessário também, checar se a armadura que será utilizada na obra será a mesma solicitada em projeto e atender o cobrimento mínimo. As fôrmas devem estar estocadas em local adequado para preservar sua estrutura e que elas venham a ter um tratamento correto tanto na montagem quanto na desmontagem das fôrmas. A concretagem deve ser realizada dentro de um plano estabelecido previamente e que no processo de execução o concreto se mantenha plástico assegurando suas

características principais a serem consideradas antes do seu processo de hidratação, permitindo assim que todo o processo de concretagem mantenha uma continuidade e que todos os processos sejam realizados no tempo esperado.

2.3 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, a vida útil de projeto é “o período de tempo no qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução de reparos necessários decorrentes de danos acidentais”. Com isso, pode-se concluir que a vida útil das estruturas não irá depender apenas de um fator isolado, mas sim de um conjunto ações que irá propiciar um desempenho satisfatório às estruturas.

Então, pode-se observar a importância de um conjunto de medidas desde a concepção estrutural a que venham garantir que as estruturas tenham seu desempenho atendido para o qual foi projetado evitando com isso processos de deterioração precoce levando ao surgimento de diversas manifestações patológicas que possam vir a causar a ruína da estrutura. (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.4 PATOLOGIA E DIAGNÓSTICO DAS ESTRUTURAS

Souza e Ripper (1998) afirmam que o processo de sistematização dos estudos das patologias das construções nos últimos tempos, tem conduzido ao estabelecimento de uma classificação preliminar dos problemas ou manifestações patológicas em simples e complexas, sendo as simples analisadas e resolvidas através de padronizações de métodos e os complexos aqueles no qual demandam análises mais criteriosas e os tratamentos acabam se distanciando dos métodos convencionais.

Para que os processos realizados sejam de maneira correta, uma inspeção de maneira detalhada permite avaliar criteriosamente uma estrutura, permitindo realizar com clareza um mapeamento das manifestações patológicas, levando em consideração todas as informações que possam caracterizar a construção. Com isso, realizando a coleta de dados ordenadamente é possível emitir um bom parecer técnico da estrutura, informando o diagnóstico mais preciso para a estrutura. Assim as intervenções a serem realizadas serão mais assertivas e irão colaborar para uma maior vida útil da estrutura.

2.5 MANUTENÇÕES E REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Conforme a ABNT NBR 5462: 1994 as manutenções das estruturas estão relacionadas à sua vida útil, portanto quando elas são executadas de maneira periódica elas podem conservar ou recuperar sua capacidade funcional e dos componentes que a compõem de maneira a atender às necessidades de segurança do usuário. As manutenções podem ser corretivas, sendo as mais dispendiosas. As manutenções preventivas são aquelas que são realizadas em intervalos de tempos pré-determinados já a manutenção preditiva com o objetivo de direcionamento de ações e implementações dos procedimentos a serem realizados na manutenção preventiva.

3 FIBRAS DE CARBONO

Segundo Machado (2002) as fibras de carbono são resultado da carbonização de fibras precursoras orgânicas tais como poliacrilonitril (PAN) ou com base no alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PICHT) e em ambiente inerte. As fibras de carbono são utilizadas em muitos seguimentos da indústria, mas na construção civil é muito utilizada como reforço nos elementos estruturais onde ocorreu ataque de agentes externos levando a estrutura à deterioração, havendo a necessidade de reforço estrutural para que a mesma não sofra uma ruína estrutural.

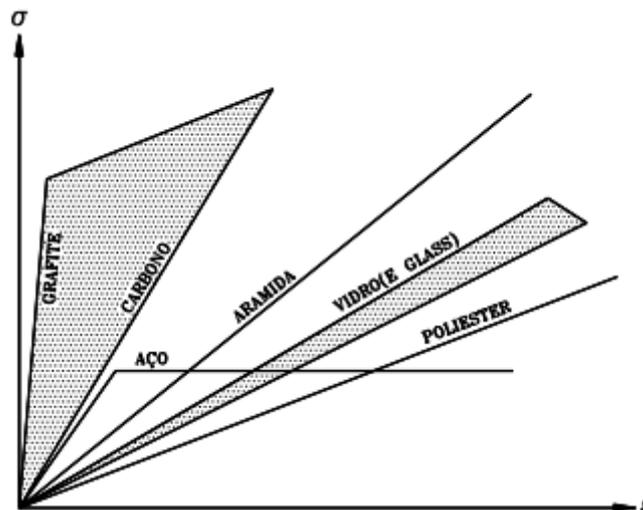
As fibras de carbono além da resistência e rigidez possuem excelente resistência à fadiga, características de amortecimento de vibrações, resistência térmica e estabilidade dimensional. Elas possuem também boa resistência elétrica e térmica e são quimicamente inertes, exceto quanto à oxidação. CALISTER (2002)

Segundo JUVANDES (1999) além da comercialização das fibras de carbono na construção civil, também são utilizadas as fibras de vidro e aramida.

Uma das principais desvantagens da utilização do sistema composto com fibra de carbono é alta energia para sua produção elevando com isso seu custo. (GUDONIS et al.; 2013.)

A figura 1 apresenta o diagrama tensão versus deformação de alguns materiais utilizados para reforço.

Figura 1: Diagrama Tensão vs. Deformação das fibras Machado (2002).



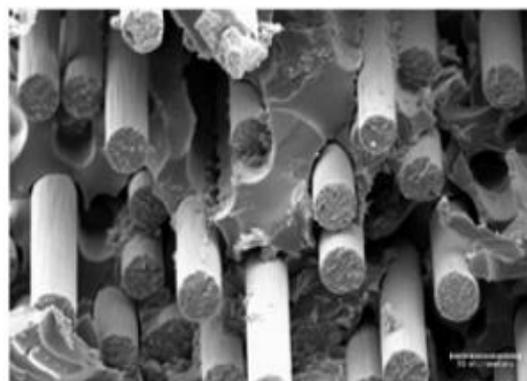
3.1 MATRIZ

O compósito de fibra de carbono possui dois constituintes básicos para sua formação, são elas a matriz polimérica e o elemento estrutural. A matriz polimérica é responsável por manter a coesão entre as fibras internamente, facilitando a transferência de tensões de cisalhamento entre o elemento estrutural e a fibra de carbono. O elemento estrutural fibras de carbono por sua vez estão dentro da matriz atuando de forma a manter essas tensões de tração no qual serão solicitadas, suas principais características são baixo peso, resistência alta e grande rigidez. (Machado, 2002).

O comportamento dos polímeros pode ser prejudicado em razão do meio a que podem estar sujeitos como: umidade e temperatura, comportamento a fluência e a relaxação, radiações ultravioleta e comportamento ao fogo. ARQUEZ (2010)

Na figura 2 é apresentada a ampliação em microscópio eletrônico da matriz polimérica de um sistema composto estruturado com fibras de carbono, onde podemos observar com maior detalhe as fibras de carbono e a matriz polimérica.

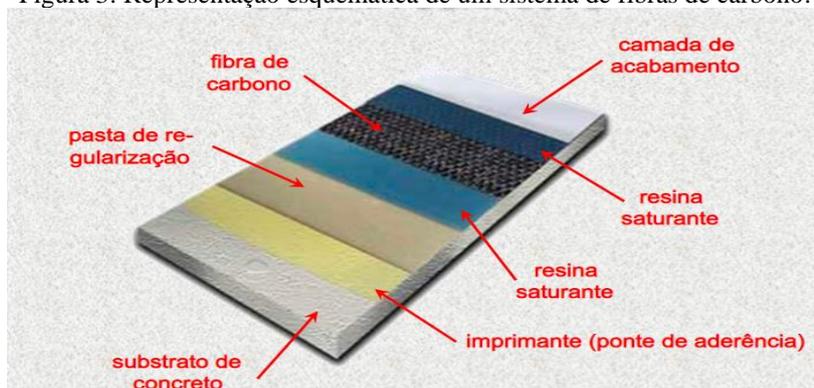
Figura 2: Ampliação em um microscópio eletrônico de um sistema composto estruturado com fibras de carbono Machado (2002)



Segundo CALISTER (2002) no elemento compósito a matriz possui várias funções como, fazer a ligação entre as fibras, age como uma ponte de forma que quando tensões externas são aplicadas ela distribui essas às fibras, pois apenas valores pequenos são suportados pela matriz. A matriz também trabalha de forma a proteger as fibras de ações superficiais como, abrasão mecânica e reações químicas com o meio. Atua de forma a redistribuir o carregamento que irá atuar nas fibras em caso de ruptura, funcionando de maneira a impedir a propagação de trincas. É importante ressaltar que a ligação entre a matriz e a fibra deve ser grande, pois a capacidade total de suporte do compósito dependerá dessa combinação.

A figura 3 apresenta a sequência recomendada para a execução dos sistemas estruturados com fibras de carbono.

Figura 3: Representação esquemática de um sistema de fibras de carbono.



Fonte: Machado 2009.

3.2 RESINAS EPÓXI

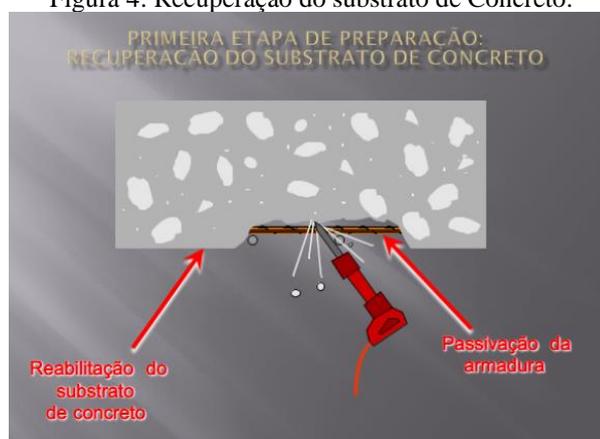
Segundo JUVANDES (1999) as resinas epóxi são bi componentes (resina e endurecedor) formadas pela reação química por elementos constituintes da resina e do endurecedor. Onde qualquer molécula do primeiro componente deve estabelecer ligação com o segundo componente. Sendo ela condicionada ao tempo da mistura, à temperatura e umidade do local. Sua importância está diretamente relacionada a integridade do conjunto.

De acordo com JUVANDES (1999, p. 2.60) “Um adesivo deve ajustar-se às circunstâncias que envolvem cada caso prático de reforço, através da seleção de um material com resistência à tração e ao corte superiores ao da camada de base e capaz de diminuir as hipóteses de uma ruptura frágil”.

3.3 SISTEMAS COM FIBRAS DE CARBONO- ETAPAS EXECUTIVAS

De acordo com Machado (2002) para que se tenha uma garantia de que a aplicação do composto de fibra de carbono (CFC) tenha uma boa aderência com o concreto já existente é necessário que se siga corretamente as etapas executivas a fim de que o sistema venha a trabalhar posteriormente de forma eficiente. Assim, a execução do reforço utilizando às fibras de Carbono a estrutura existente deve passar por correções das manifestações patológicas existentes, sendo de grande importância a eliminação de causas que possam facilitar os processos de corrosão na armadura, após essas correções deve ser realizada a recuperação do substrato de concreto armado para que a aderência ocorra com segurança conforme apresentado na figura 4:

Figura 4: Recuperação do substrato de Concreto.



Fonte: Machado (2009)

3.4 RECUPERAÇÕES DE FISSURAS E TRINCAS

De acordo com Souza e Ripper (1998), fissuras com abertura maiores que 0,1mm devem ser injetadas e esse procedimento deve ser realizado sobre baixa pressão ($\leq 0,1$ Mpa) como demonstrado na figura 5, a exceção se dará quando essas aberturas forem maiores que 3,0mm e não muito profundas, quando se admite a injeção por gravidade. Na figura 5 é demonstrada a realizada da injeção.

Figura 5: Injeção de fissuras.



Fonte Souza e Ripper (1998)

3.5 PREPARAÇÕES DA SUPERFÍCIE PARA RECEBIMENTO DO COMPOSTO DE FIBRA DE CARBONO

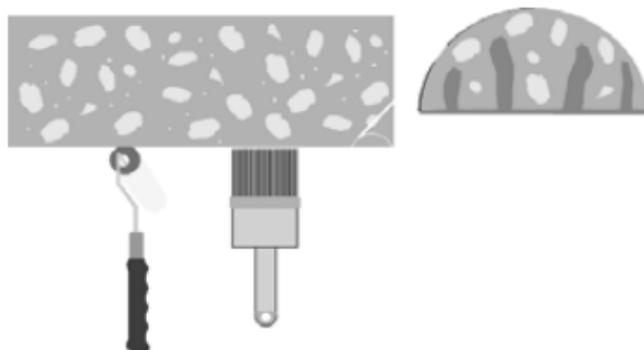
Segundo Machado (2002), a preparação da superfície irá depender para qual será o objetivo da aplicabilidade do CFC. Se o objetivo da aplicação do reforço for para combater os esforços de flexão e cisalhamento em vigas e pilares, um sistema de colagem deve ser utilizado para que se garanta a correta aderência para a transferência de esforços, caracterizando assim a condição crítica de colagem do CFC. Nessa condição a superfície deve ser preparada com a utilização de abrasivos, jato de areia, limalhas metálicas. Para superfícies menores deverá ser utilizado politrizes com aspirador de pó, sendo necessária toda a remoção de poeiras, óleos e graxas para uma aderência adequada.

Ainda conforme MACHADO (2002) Se o objetivo do reforço for combater a resistência à compressão exigindo uma condição de contato eficiente entre o concreto e o sistema composto, caracteriza então a condição crítica íntimo. Nesses locais onde as aplicações envolvem o confinamento das peças a serem reforçadas, a preparação da superfície deve ser direcionada no sentido que seja estabelecido o contato íntimo e contínuo entre as superfícies envolvidas. As irregularidades e concavidades que estiverem presentes na superfície devem ser sanadas para que não haja impedimento para o correto funcionamento do sistema.

3.6 APLICAÇÕES DO IMPRIMADOR PRIMÁRIO E REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE

Segundo Machado (2002), a imprimação primária tem a função de colmatação dos poros com o objetivo de criar uma maior aderência entre a superfície externa e o composto de CFC a ser instalado. Conforme apresentado na figura 6.

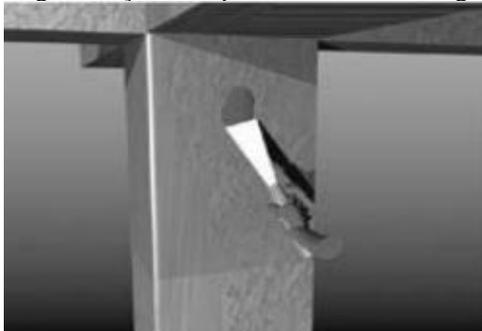
Figura 6: Aplicação do imprimador primário.



Fonte: Machado (2002)

Em seguida deverá ser aplicada uma massa de regularização em toda a superfície onde será aplicado o sistema com o objetivo de tornar a peça desempenada e contínua. Conforme apresentado na figura 7.

Figura 7: Regularização da superfície com massa regularizadora.



Fonte: Machado(2002)

3.7 CORTE E IMPRIMAÇÃO DAS FIBRAS DE CARBONO

As lâminas de fibra de carbono devem ser cortadas com objetivo de atender às regiões onde serão instaladas, as especificações como comprimento da fibra, espessura, posicionamento dentre outras características que devem atender às solicitações do projeto de reforço. MACHADO (2002)

3.8 SATURAÇÃO VIA ÚMIDA E VIA SECA

De acordo com Machado (2002), a saturação por via úmida é realizada quando a fibra é saturada na bancada. Conforme demonstra a figura 8, já a saturação por via seca é aquela onde é realizada diretamente sobre a peça onde será recebida posteriormente a fibra de carbono.

Figura 8: Saturação da fibra de carbono na bancada.



Fonte: Machado (2002)

3.9 APLICAÇÃO DA LÂMINA DE FIBRA DE CARBONO

Conforme MACHADO (2002) assim que realizada a imprimação independente do método escolhido, a colocação deve ser feita de forma imediata, conforme apresentado na figura 7. Após a colocação em um intervalo de tempo de 25 a 30min poderão ser realizados ajustes, durante essa etapa também é importante à observação sobre o surgimento de bolhas, caso elas apareçam deve ser utilizado um rolete pequeno de aço para que seja expulsa a bolha de ar até a extremidade da lâmina.

Concluída essa fase é necessária a realização de uma segunda camada de saturação, garantindo assim um total encapsulamento da fibra. Dependendo do tipo de projeto de reforço poderão ter várias camadas da fibra de carbono tornando-se necessário a repetição de tais aplicações. E para a finalização do processo é realizado o acabamento com finalidades estéticas e de proteção do sistema. MACHADO (2002)

A efetivação de todas as camadas presentes pode ser visualizada pela figura 9.

Figura 9: Aplicação da fibra de carbono.



Fonte: Machado (2002)

3.10 FIBRAS DE CARBONO SUBMETIDAS À AÇÃO DO FOGO

Segundo Machado (2002), ao se utilizar as fibras de carbono como material de reforço e sabendo que ele fica aderido à superfície de concreto na parte externa, é imprescindível a sua verificação quanto à resistência ao fogo. Para isso esses sistemas compostos devem atender as normas e códigos vigentes.

Conforme Machado (2002) para isso, dois fatores devem ser levados em consideração. É necessária a avaliação da resina epoxídea utilizada em relação ao seu potencial de geração de fumaça e propagação de chama, também deve ser analisada a resistência ao fogo da estrutura de concreto após ser reforçada. No que diz respeito aos materiais utilizados no sistema composto, a resina irá definir a resistência ao fogo. Podendo ela ser termoplástica, ou seja, fundir e solidificar várias vezes e as termoestáveis

que após passarem por um processo químico não voltam ao estágio inicial depois de submetidas ao aquecimento. Sendo, portanto necessária a aplicação de proteções especiais quando as fibras de carbono forem diretamente expostas ao fogo.

4 APLICAÇÃO DOS SISTEMAS COMPOSTOS

Um exemplo que pode ser citado é o viaduto Arthur Bernardes mais conhecido como viaduto Santa Tereza em Belo Horizonte. O viaduto está localizado entre as ruas Bahia e Itambé- em frente à serraria Souza Pinto, sendo ele a principal ligação entre o centro comercial da cidade e o bairro Santa Tereza. O viaduto possui 390m de extensão, 13m de largura e 14m de altura, sua inauguração ocorreu em setembro de 1929. Mas em 1934 o viaduto já começa a surgir problemas e ele começa a sofrer intervenções desde essa época. Nos anos de 1997 á 1999 o viaduto passa por várias melhorias em sua estrutura, com o objetivo de melhorar sua capacidade de suporte sem ter alterações em suas dimensões, foi utilizado então o reforço estrutural com fibra de carbono pela primeira vez na América do Sul. VIADUTO DE SANTA TEREZA (1999)

Na figura 10 podemos observar que foram utilizados reforço nas lajes em duas direções com o objetivo de combater à flexão. Nas vigas observamos a utilização de fibras de carbono com objetivo de absorver os esforços de tração decorrentes de momento fletores positivos e negativos, bem como tensões decorrentes de esforços cortantes. MACHADO (2002).

Figura 10: Reforço estrutural do viaduto Santa Tereza com fibras de carbono.



Fonte: Machado (2009)

Após a conclusão dos trabalhos o viaduto permanece com suas características originais, adaptadas a uma nova demanda de esforços.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas de concreto armado ao longo de sua vida útil sofrem degradações devido a projetos ineficientes, vícios construtivos, materiais de má qualidade, agentes agressivos externos dentre outros, como também podem ter sua utilização modificada, alterando seu carregamento sendo necessária a realização de um reforço.

De acordo com JUVANDES (1999), a técnica de reforço por colagem de sistemas compósitos utilizando a fibra de carbono surge como uma alternativa os quais estão associados vantagens como, durabilidade, facilidade e simplicidade de aplicação e um excelente desempenho mecânico.

Segundo MACHADO (2002), algumas considerações devem ser atendidas antes de especificar e realizar o reforço com fibras de carbono como reparar o concreto danificado, correção de problemas relativos à corrosão ativa, diagnosticar e corrigir peças de concreto que apresentem eflorescências, ataques químicos e fissurações, bem como prever regiões de alívio para minimizar pressões de vapor dentro dos elementos de concreto.

Já (GUDONIS et al.; 2013), cita a importância de pesquisas futuras realizarem a verificação dos incrementos de deformações no tempo de elementos de concreto que foram reforçados com o compósito de fibra de carbono.

É importante, contudo investimentos em pesquisas para que eles possam ter maior desempenho tecnológico e que possam ter normatizações brasileiras como objetivo de regulamentar pesquisa e o mercado.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 5462. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 14931.Execução de estruturas de Concreto – Procedimento, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto. Procedimento, 2014.

ARQUEZ, A. P. Aplicação do Laminado de polímero reforçado com fibras de Carbono (PRFC) inserido em substrato de microconcreto com fibras de aço para reforço à flexão de vigas de concreto armado. São Paulo, 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

CALLISTER JUNIOR, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. 5ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2002.

GUDONIS, Eugenijus.; TIMINSKAS,Edgaras.; GRIBNIAK,Viktor.; KAKLAUSKAS, Gintaris.; ARNAUTOV, Aleksandr K.; TAMULÉNAS, Vytautas. FRP Reinforcement for concrete structures: state-of-the-art review of application and design. Engineering Structures and Technologies, v. 5, n.4, p.147-158, 2013. Disponível em < <https://journals.vgtu.lt/index.php/EST/article/view/4030> >. Acesso em: 01 de agosto de 2020.

JUVANDES, Luís Felipe Pereira. Reforço e reabilitação de estruturas de betão usando materiais Compósitos de CFRP. Lisboa, 1999. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

MACHADO, A. d. P. Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono. São Paulo: PINI, 2002.

MACHADO, A. d. P. Sistemas compostos para o reforço de pontes. 14º ENACOR (Encontro Nacional de Conservação Rodoviária), 2009. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1261591>>. Acesso em 30 de Setembro de 2020.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (2014). Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Instituto brasileiro de Concreto. Cap.1, p.3-5.

SOUZA, V. C., e RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1a ed. São Paulo: PINI, 1998.

TEREZA, Viaduto Santa. Viaduto Santa Tereza. Prefeitura de Belo Horizonte, 1999.

VIAPOL. Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono. Disponível em: < <http://www.viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf> > Acessado em: 15 de agosto de 2020.