



REFORÇO COM COMPÓSITO DE FIBRAS DE CARBONO: ALTERNATIVA MODERNA NO COTIDIANO DAS OBRAS

BATISTA, Juliana Teófilo Monteiro (1); SILVA, Vitório Arruda (2); REZENDE, Emanuela Carvalho Lobo (3); MONTEIRO, Eliana Cristina B. (4)

(1) Graduanda em Engenharia Civil pela UNICAP, juh.batista@hotmail.com; (2) Mestrando em Engenharia Civil pela UNICAP, ttokka@yahoo.com.br; (3) Mestranda em Engenharia Civil pela UNICAP, emanuelalobo@hotmail.com; (4) Professora Doutora Adjunta da POLI/UPE e UNICAP, eliana@unicap.br

RESUMO

Diante da necessidade de reforços e reparos cada vez mais específicos na Indústria da Construção Civil, surgiu a solução de combinar os Compósitos de Fibras de Carbono (CFC) em substituição às armaduras metálicas nas peças de concreto armado das construções existentes, com o objetivo de minimizar o prazo na execução dos reforços e reparos, promovendo adequações da capacidade resistente das estruturas em função do uso. O presente artigo visa apresentar a aplicação da técnica de reforço da estrutura de concreto através do uso do CFC em uma edificação comercial e em uma edificação residencial, ambas da região metropolitana do Recife - PE, abordando também suas vantagens e desvantagens. Os dois estudos de caso descritos detalham a técnica de reforço utilizada através do passo a passo de um reparo estrutural. Observou-se nos estudos de caso que o reforço com fibras de carbono representam uma alternativa moderna e de grande eficiência nas situações cotidianas da engenharia civil, particularmente nas reformas simples em que se pretende reparar ou reforçar a estrutura, pois a técnica alia a leveza do material à elevada resistência a corrosão, além da facilidade de aplicação do compósito. Embora a utilização do CFC requeira mão-de-obra especializada e apresente um alto custo da fibra, o uso da técnica apresenta vantagens em relação às técnicas de reforço estrutural tradicionais com concreto armado ou com chapas metálicas, concluindo assim pela sua viabilidade.

Palavras-chave: Reforço com Compósito de fibras de carbono. Fibras de carbono. Reforço estrutural. Tecnologia para reforço estrutural.

ABSTRACT

Faced with the need for increasingly specific reinforcements and repairs in the Civil Construction Industry, the solution of combining Carbon Fiber Composites (CFC) in replacement of the metallic reinforcements in the reinforced concrete pieces of the existing constructions was created, with the objective of minimize the time in the execution of the reinforcements and repairs, promoting adaptations of the resistant capacity of the structures in function of the use. The present article aims to present the application of concrete reinforcement technique through the use of CFC in a commercial building and residential building, both of the metropolitan region of Recife-PE, also addressing its advantages and disadvantages. The two case studies described detail the reinforcement technique used through the step-by-step of a structural repair. It has been observed in the case studies that carbon fiber reinforcement represents a modern and highly efficient alternative in daily civil engineering situations, particularly in simple reforms in which the structure is to be repaired or reinforced, since the technique combines the lightness of the High corrosion resistance, as well as the ease of application of the composite. Although the use of CFC requires specialized labor and presents a high cost of fiber, the use of the technique presents advantages over traditional structural reinforcement techniques with reinforced concrete or sheet metal, thus concluding its viability.

Keywords: Reinforcement with carbon fiber composite. Carbon fibers. Structural reinforcement. Technology for structural reinforcement.

1 INTRODUÇÃO

Com a invenção do cimento Portland, na Inglaterra em 1824, houve um grande salto no desenvolvimento das técnicas construtivas usadas na indústria da

construção, principalmente com a possibilidade da inclusão de fios e barras metálicas ao longo do tempo, dando início à era das construções de estruturas em concreto armado. As obras, por sua vez, apresentaram necessidades particulares devidas às complexas naturezas dos efeitos ambientais sobre as estruturas em busca do verdadeiro alcance do desempenho e da durabilidade das edificações. Observou-se que o alcance desse desempenho deveria ser obtido pela melhoria conjunta das características dos materiais, projetos, execução, fiscalização e manutenção das construções. E nesse cenário, a recuperação e o reforço das estruturas surgem como fortes aliados nesse processo. A tecnologia do compósito a base de fibras de carbono mostrou-se como uma boa alternativa para substituição ao aço na reparação ou no reforço de estruturas de concreto armado, atendendo às necessidades de reestabelecer as condições originais das estruturas danificadas (recuperação), ou promover adequações da capacidade resistente das estruturas em função de sua funcionalidade (reforço).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização dos compósitos na engenharia ocorre para se alcançar um material com características superiores às convencionais. A fibra de carbono começou a ser empregada na construção civil devido a necessidade de se reforçar estruturas no sistema viário japonês que sofria com recorrentes sismos, conforme relata Mazer (1999). Após o sismo de Kobe em 1995, gestores investiram em pesquisas introduzindo na indústria da construção civil, elementos que eram utilizados apenas nas áreas aeroespacial, naval, aeronáutica e automobilística. Segundo Souza e Ripper (1998) a utilização de compósitos reforçados com fibras de carbono em elementos de concreto, como alternativa ao aço, começou em meados do século passado. Seu uso era exclusivo das estruturas em hospitais e clínicas, cujos ambientes estavam submetidos a incidência de ressonância magnética.

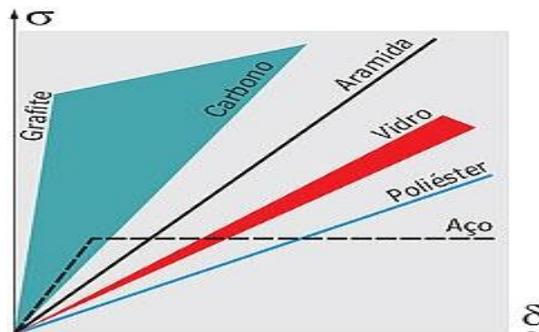
As fibras de carbono resultam da carbonização de fibras precursoras orgânicas tais como o poliácridonitril (PAN) ou com base no alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PITCH) em um ambiente inerte (Machado, 2002). A oxidação das fibras seguida pela colocação delas em elevada temperatura no processo de fabricação resulta num material com átomos de carbono perfeitamente alinhados, conferindo elevada resistência mecânica ao produto final – a fibra.

Segundo Callister Júnior (2008), as principais características ao se utilizar as fibras de carbono são:

- Elevada resistência mecânica;
- Elevada rigidez;
- Adequado comportamento à fadiga;
- Elevada resistência a ataques químicos diversos;
- Por se tratar de um produto inerte, não são afetados pela corrosão;
- Estabilidade térmica e reológica;
- Extrema leveza, devido ao baixo peso específico do sistema (da ordem de 1,6g/cm³ a 1,9g/cm³, cerca de 5 vezes menor do que o do aço estrutural) chega-se ao ponto de não se considerar o seu peso próprio nos reforços.

Na Figura 1 está apresentada a relação tensão *versus* deformação de alguns materiais usados como reforço.

Figura 1: Relação tensão X deformação de alguns materiais de reforço.



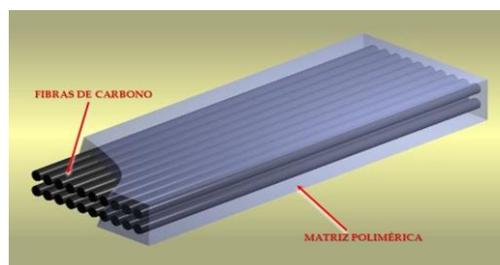
Fonte: Machado (2002)

Segundo Souza e Ripper (1998), os compósitos de fibras de carbono em matrizes de resina epoxídica apresentam, em comparação com o aço de construção, para uma mesma espessura, um quarto do peso e resistência à tração de oito a dez vezes maior, para o mesmo modo de elasticidade, acrescenta-se ainda, que a tensão última é da ordem de 3.500 Mpa.

De acordo com Machado (2002), com relação a sua composição, o CFC é constituído por uma matriz polimérica que mantém as fibras internamente coesas, favorecendo a transferência das tensões de cisalhamento entre o elemento estrutural concreto e a fibra de carbono. Já as fibras de carbono dispostas unidirecionalmente dentro das matrizes poliméricas, têm a função de absorver as tensões de tração decorrentes dos esforços solicitantes atuantes, conforme ilustrado na Figura 2.

Portanto, a matriz polimérica tem que necessariamente ter um alongamento de ruptura muito maior do que o alongamento que ocorre na fibra de carbono, para permitir que a mesma continue a possuir capacidade de carga mesmo após a tensão na fibra ter atingido a sua tensão de ruptura (limite de resistência).

Figura 2: Representação de um compósito estruturado com fibras de carbono.



Fonte: Callister Junior (2008)

A utilização dos sistemas CFC pode ser utilizada para realização de reforço estrutural em uma variedade de elementos de concreto armado, tanto em vigas para absorver a flexão e cisalhamento, como em lajes para aumentar a resistência à flexão e ainda em pilares e colunas, para aumentar a resistência à flexão e aumentar sua resistência à compressão axial por meio de confinamento.

Nas vigas, como pode ser observada na Figura 3, a utilização das fibras de carbono potencializa a absorção dos esforços dos momentos fletores, que

provocam tração na peça, bem como o cisalhamento.

Figura 3: Reforço de viga a flexão e ao cisalhamento com fibras de carbono.



Fonte: Unicon Engenharia (1996)

Em comparação ao caso das vigas, os reforços com fibras de carbono em lajes ocorrem identicamente. Elas podem ser reforçadas à flexão com lâminas de fibras de carbono dispostas nas duas direções, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4: Reforço da laje à flexão nas duas direções.

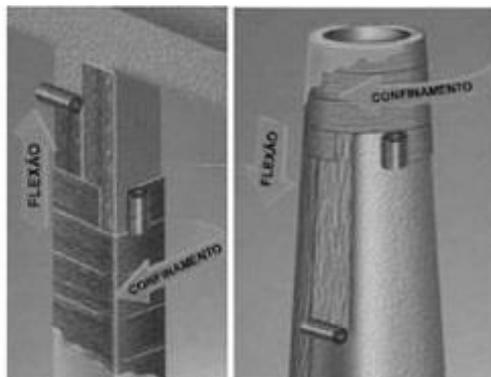


Fonte: Perboire (2010)

Já para o reforço em pilares, deve-se seguir uma sequência na execução, priorizando o reforço por flexão antes dos reforços para o corte e para o confinamento, ou seja, os dois últimos reforços serão aplicados sobre o reforço por flexão.

Segundo Machado (2002), essa sequência executiva tem por objetivo garantir, para o reforço à flexão e para o reforço ao corte, a condição denominada *colagem crítica*, onde é exigida uma aderência íntima entre o concreto e o sistema composto, e para o reforço por confinamento a condição denominada de *contato íntimo*, onde as necessidades de aderência entre o sistema composto e o concreto não são mandatórias. Na Figura 5 estão ilustrados exemplos de dois pilares de concreto onde a sequência de reforço é obedecida.

Figura 5: Reforço de pilares à flexão e confinamento.



Fonte: Machado (2002)

3 MÉTODO – ETAPAS DE EXECUÇÃO

As estruturas de concreto armado que recebem reforço através dos sistemas CFC passam por uma sequência de etapas de execução para garantir a correta aplicação do reforço e aderência eficiente deste à estrutura.

3.1 Recuperação do Substrato de Concreto

De acordo com Machado (2002), todas as manifestações patológicas identificadas no substrato do concreto deverão ser preliminarmente corrigidas, havendo em seguida a implantação do sistema CFC com segurança. A corrosão de armaduras é uma das ocorrências mais frequentes, sendo necessária, além da recuperação e passivação das barras de aço afetadas pela corrosão, a remoção e a recomposição das superfícies do concreto degradadas devido a essa manifestação. A Figura 6 apresentada ilustra como executar a remoção da superfície deteriorada.

Figura 6: Remoção do concreto deteriorado.



Fonte: Silveira (2009)

3.2 Recuperação de Fissuras e Trincas Estruturais

Todas as fissuras e trincas existentes deverão ser recuperadas preliminarmente à execução do CFC. Segundo Souza e Ripper (1998), as fissuras com abertura a partir de 0,1mm devem ser injetadas, procedimento que é feito sob baixa pressão ($\leq 0,1$ Mpa), como demonstrado na Figura 7. Nos casos em que as aberturas são superiores a 3,0 mm e não muito profundas, a recuperação se dá pelo enchimento da trinca por gravidade.

Figura 7: Injeção de fissuras.



Fonte: Souza e Ripper (1998)

3.3 Preparação da Superfície para o Recebimento do CFC

Segundo Machado (2002), a preparação das superfícies dependerá da aplicação pretendida do sistema CFC. Dessa forma a aplicação dos sistemas compósitos pode ser classificada em função da condição crítica de colagem do CFC (para reforço aos esforços de flexão e cisalhamento) ou em função da condição crítica de contato íntimo (para confinamento que reforça a resistência a compressão).

Para atender a colagem crítica, utilizam-se abrasivos ou jatos de água, areia ou limalhas metálicas para limpeza da superfície e remoção de partes soltas. Quando o sistema composto exigir recobrimento de mais de uma superfície lateral da peça, será necessário arredondar as quinas envolvidas, evitando a concentração de tensões nessas áreas, eliminando os eventuais vazios entre o concreto e o sistema.

Para atender a condição crítica de contato íntimo, a preparação da superfície deve direcionar o contato íntimo e contínuo entre as superfícies envolvidas, evitando concavidades e convexidades que impeçam o carregamento correto do sistema composto. As irregularidades superficiais expressivas devem ser corrigidas através do seu preenchimento (caso de brocas) com material de reparação compatível com as características mecânicas do concreto existente ou através da sua remoção (caso das juntas de formas).

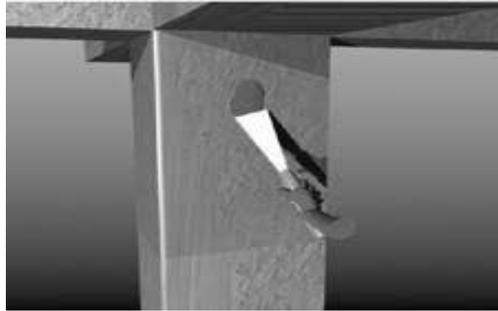
3.4 Aplicação do Imprimador Primário e do Regularizador de Superfície

Após a recuperação do substrato de concreto, inicia-se a aplicação das fibras de carbono na estrutura a ser reforçada.

Segundo Machado (2002), inicia-se a aplicação com os imprimadores primários (*primers*), que possuem a função de penetrar nos poros de concreto estabelecendo uma ponte de aderência eficiente juntamente com a película aderida à superfície do concreto. Em seguida é aplicada a massa regularizadora de superfície (*putty fillers*), que tem como objetivo regularizar as superfícies de concreto onde serão aplicadas as fibras de carbono.

Na Figura 8 está ilustrada a aplicação da massa regularizadora, destacando que a mesma é feita apenas para corrigir irregularidades na área a ser imprimada.

Figura 8: Regularização da superfície com massa regularizadora.



Fonte: Machado (2002)

3.5 Corte e Imprimação das Fibras de Carbono

As lâminas da fibra de carbono são cortadas em uma bancada especialmente feita para o corte, onde são utilizadas ferramentas como régua metálica, tesoura de aço e estilete. As características das lâminas de fibra de carbono (comprimento, largura, posicionamento, entre outros) são determinadas a partir de um projeto estrutural de reforço.

3.6 Saturação Via Úmida

Após o corte, as lâminas de fibras de carbono são aderidas às peças a serem reforçadas por via úmida. Esta é uma alternativa onde a lâmina de fibra de carbono é saturada em bancada própria, sendo depois transportada para a sua aplicação na peça a ser reforçada, conforme se observa na Figura 9.

Figura 9: Imprimação da fibra de carbono na bancada.



Fonte: Machado (2002)

3.7 Saturação Via Seca

Outra alternativa de saturação é diretamente sobre o concreto da peça a ser reforçada. Na prática, porém, a imprimação na bancada conduz uma condição de trabalhabilidade e economia maior do que esta opção.

3.8 Aplicação da Lâmina de Fibra de Carbono

Segundo Souza e Ripper (1998), o processo de aplicação da lâmina de fibra de carbono deve ser imediato e independe do tipo de imprimação utilizado. O tempo de aplicação da resina saturante é no máximo 25 a 30 minutos, dentro do qual se podem realizar os ajustes de alinhamento necessários, para evitar ocorrência de ondulações ou desvios de direção maior que 5°.

Já para garantir a aderência ao substrato, deve ser executado um procedimento denominado rolagem das bolhas de ar, cujo objetivo é eliminar as bolhas de ar aprisionadas entre a fibra e o substrato. Esse procedimento é realizado com o uso de roletes de aço dentados que empurram as bolhas até a extremidade da lâmina.

3.9 Segunda Camada de Saturação

Para garantir que a fibra de carbono esteja totalmente encapsulada é feita uma segunda imprimação sobre a lâmina instalada após 30 minutos da aplicação da fibra, encerrando assim as etapas dos processos construtivos do sistema CFC.

3.10 Revestimento Estético e/ou Protetor

Finalizadas todas as etapas de aplicação do sistema CFC, pode ser necessária a aplicação de um revestimento estético ou de proteção (mecânica e química do CFC). São disponibilizados então, os revestimentos *topcoats*, com várias cores e texturas.

Podem ser necessárias várias camadas de lâmina de fibra de carbono para o reforço estrutural da peça, dessa forma, devem ser repetidas sucessivamente essas operações para cada camada adicional.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Estudo de Caso 01

4.1.1 Descrição da Edificação

A edificação em estudo é uma concessionária de automóveis e motocicletas localizada na região metropolitana do Recife. Sua estrutura é composta por um pavimento térreo de concreto pré-moldado protendido, pé-direito duplo com 5,5 metros de altura, coberta com estrutura metálica composta por treliças metálicas e vigas de concreto. Possui uma área útil de aproximadamente 1000m², cuja cobertura é suportada por treliças metálicas, espaçadas regularmente e engastadas em quatro vigas de concreto pré-moldado protendido (duas vigas nas extremidades e duas vigas centrais) formando a rigidez da estrutura da cobertura.

4.1.2 Descrição do Reforço

O objetivo da reforma era a diminuição do pé direito utilizando forro com placas de gesso. Com o aumento de sobrecarga, por conta da aplicação das placas e dos tirantes metálicos que as sustentam, o calculista verificou que as duas vigas centrais, que possuíam maior área de influência, teriam que ser reforçadas.

O projeto de reforço estrutural utilizando a fibra de carbono em compósito CFC foi especificado pelo engenheiro calculista com quatro camadas de fibras de carbono. Por se tratar de uma edificação comercial, a escolha da utilização da fibra de carbono para o reforço, se deu em função do prazo de execução do CFC ser bem inferior se comparado ao prazo de um reforço estrutural tradicional. Além disso, a mobilização de pessoal, máquinas e materiais, e ainda os

transtornos da obra utilizando a técnica de reforço CFC são bem menores que num reforço tradicional que requer corte de viga, acréscimo de barras e nova concretagem, por exemplo.

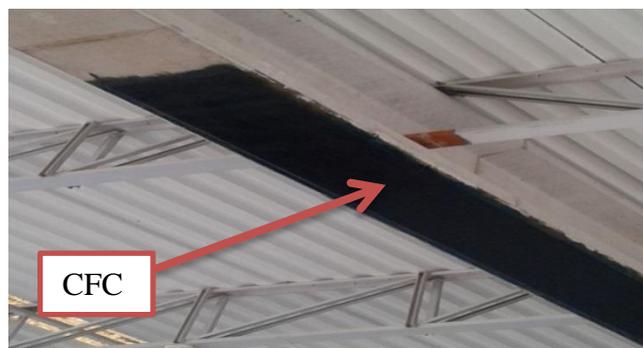
4.1.3 Procedimento de Reforço

Para realizar o reforço da estrutura com fibra de carbono, conforme método apresentado no item 3, fez-se necessário obedecer as etapas de execução descritas abaixo:

- 1) Inicialmente realizou-se o preparo mecânico do substrato de concreto onde a fibra seria aderida, através do uso de esmerilhadeira com disco de desbaste diamantado;
- 2) Verificou-se as irregularidades contidas na superfície e corrigiu-as com argamassa epóxica, pois qualquer fissura ou trinca contida na superfície reparada poderia prejudicar a aderência da fibra de carbono;
- 3) Posteriormente, realizou-se uma limpeza com ar comprimido para a retirada de quaisquer vestígios de poeiras e resíduos que pudesse danificar as fibras;
- 4) Para que a fibra de carbono pudesse ser aplicada na superfície de concreto foi necessária à utilização de um *primer* epóxi (menos viscoso) para que houvesse uma ponte de aderência entre o concreto e a fibra;
- 5) Foi necessária a preparação para aplicação de uma demão da 1ª camada saturante (resina de colagem);
- 6) Foi feita a aplicação imediata da fibra de carbono, previamente cortada e desenrolada, na superfície de concreto a ser reparada;
- 7) Em seguida foi utilizado rolo tira bolhas (rolete de aço dentado para empurrar as bolhas até a extremidade da lâmina) para retirar as bolhas aprisionadas, alinhar as fibras e garantir a aderência desta ao substrato;
- 8) Foi preparada e aplicada uma demão da 2ª camada saturante;
- 9) Por fim, realizou-se o acabamento necessário.

Nas Figuras 10, 11 e 12 a seguir estão apresentadas a finalização da aplicação do reforço CFC na viga central da cobertura que receberá nova sobrecarga dos tirantes metálicos.

Figura 10: Fibra de carbono aplicada na face inferior da viga.



Fonte: Arquivo pessoal (2017)

Foram utilizadas quatro camadas de fibra de carbono e para cada camada foi necessária a repetição das etapas de saturação, aplicação da fibra e alinhamento. Respeitou-se o tempo de espera para os procedimentos 2, 4, 5 e 8, que variam de acordo com os fabricantes dos produtos, tempos estes em torno de 30 a 45 minutos.

Figura 11: Aplicação do compósito CFC na viga central conforme projeto estrutural



Fonte: Arquivo pessoal (2017)

Figura 12: Instalação dos tirantes após aplicação do reforço na viga central



Fonte: Arquivo pessoal (2017)

4.2 Estudo de Caso 02

4.2.1 Descrição da Edificação

A edificação em estudo é um apartamento de um edifício residencial localizado na região metropolitana do Recife. O imóvel tem leiaute do ambiente dividido em sala, quatro quartos sendo uma suíte, cozinha, banheiro social, área de serviço e banheiro de serviço. Sua estrutura é em concreto armado, laje nervurada, pé-direito com 3 metros de altura, pilares e vigas de concreto. Possui uma área útil de aproximadamente 200 m².

4.2.2 Descrição do Reforço

Devido à instalação de um condicionador de ar central na sala, a laje nervurada teve algumas de suas nervuras cortadas para que atendesse as exigências arquitetônicas da reforma. Com estes cortes, se fez necessário um projeto de reforço estrutural onde optou-se por utilizar a técnica com CFC. O engenheiro calculista verificou que apenas o local onde foram retiradas as nervuras e as nervuras vizinhas sofreriam as influências do corte, e foram esses elementos que receberam o reforço. Foram utilizadas quatro camadas de CFC de acordo com o projeto estrutural elaborado.

4.2.3 Procedimento de Reparo

Para realizar a aplicação da fibra de carbono como reforço da estrutura, foi necessário realizar o escoramento da laje para em seguida realizar os cortes das nervuras. Na Figura 13 está apresentada a marcação do corte da nervura.

Figura 13: Irregularidades contidas na superfície de concreto e marcação do corte da nervura.



Fonte: Autores (2017)

Seguiram-se as etapas do reforço baseadas na metodologia citada no item 3 :

- 1) De imediato realizou-se o preparo mecânico do substrato de concreto através do uso de esmerilhadeira com disco de desbaste diamantado;
- 2) Verificou-se as irregularidades contidas na superfície e se corrigiu com argamassa epóxica, para devida ancoragem;
- 3) Posteriormente, realizou-se uma limpeza com ar comprimido para a retirada de quaisquer vestígios de poeiras e resíduos;
- 4) Para que a fibra de carbono pudesse ser aplicada na superfície de concreto foi necessária à utilização de um *primer* epóxi (menos viscoso) para que houvesse uma ponte de aderência entre o concreto e a fibra;
- 5) Foi necessária a preparação para aplicação de uma demão da 1ª camada saturante (resina de colagem);
- 6) Aplicação imediata da fibra de carbono, previamente cortada e desenrolada, na superfície de concreto a ser reparada;
- 7) Utilização de rolo tira bolhas para alinhar as fibras e retirar as bolhas aprisionadas;
- 8) Preparação e aplicação de uma demão da 2ª camada saturante;
- 9) Por fim, realizou-se o acabamento necessário.

Foram utilizadas quatro camadas de CFC com repetição das etapas necessárias. Para esse reforço também se respeitou o tempo de espera entre a aplicação das camadas de argamassa epóxica de regularização, da aplicação do primer epóxi e da aplicação das camadas saturantes, que variam conforme cada fabricante dos produtos, sendo algo em torno de 30 a 45 minutos.

Por fim, finalizada a aplicação do reforço, conforme registro nas Figuras 14 e 15, a estrutura apresentou adequação às novas condições de carregamento impostas com a retirada das nervuras.

Figura 14: Aplicação do CFC nas nervuras vizinhas ao local onde houve o corte e na laje onde as nervuras foram cortadas.



Figura 15: Local onde houve o corte da nervura devido a instalação do ar condicionado central, reforçado com fibra de carbono



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estruturas de concreto armado frequentemente necessitam ser reforçadas. A maioria das vezes a necessidade de reforço é decorrente de vícios construtivos em alguma ou em várias fases da execução. Outras vezes a necessidade de reforço é consequência da alteração da destinação da estrutura ou da necessidade de adequação a novas condições de carregamento, como foi o caso dos estudos apresentados.

O desenvolvimento dos presentes estudos de caso possibilitou a análise da técnica de aplicação de fibras de carbono como um reforço em estruturas de concreto em situações consideradas comuns no cotidiano da engenharia civil, as reformas. Essas reformas consideradas simples, como a aplicação de forro de

gesso para diminuição de pé direito em uma edificação comercial e a instalação de ar condicionado central em uma edificação residencial, apresentadas nos estudos de caso, nem sempre tem a atenção e os cuidados necessários que, de forma geral, podem acarretar em futuros problemas estruturais se não forem tomadas as medidas preventivas cabíveis.

Os reforços com fibras de carbono podem não ser a forma mais econômica encontrada no mercado, porém, pode ser a mais viável dependendo das necessidades exigidas pela problemática nos projetos.

Como uma alternativa moderna e de grande eficiência, a técnica aplicada nos estudos de caso, demonstram que o reforço com fibras de carbono apresentam vantagens em relação a outras técnicas que se sobrepõem as desvantagens apresentadas. Dentre as vantagens que se leva em conta na escolha da técnica do sistema CFC está a elevada resistência às tensões solicitantes de tração e cisalhamento, a leveza do material, a resistência a corrosão, a necessidade de pequenas espessuras de reforço para potencializar a elevação das propriedades mecânicas da estrutura, a fácil adaptação em variadas superfícies e especialmente o curto prazo de execução do reforço. Dentre as desvantagens estão o elevado custo da fibra, a limitação de aplicação em peças submersas e o comportamento frágil de ruptura da fibra.

Para os estudos de caso apresentados, conclui-se que a utilização das fibras de carbono em reforço de estruturas de concreto existentes é viável do ponto de vista técnico em função das grandes vantagens apresentadas, sendo assim um técnica de reforço eficaz nas situações cotidianas da engenharia civil, nas reformas simples em que se pretende reparo ou reforço da estrutura.

Para aprofundamento do tema, sugerimos a execução de ensaios para o estudo de ganhos de resistência da técnica CFC *versus* técnicas de reforço tradicionais, contemplando ainda os custos envolvidos e prazos de execução.

REFERÊNCIAS

MAZER, W. **Fibra de carbono é usada para reforçar estruturas de concreto já existentes.** Revista Digital AECweb, 1999. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/fibra-de-carbono-e-usada-para-reforcar-estruturas-de-concreto-ja-existent_12079_10_0>. Acesso em 19 jun 2017.

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

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

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução.** 7ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2008.

UNICOM ENGENHARIA. **Recuperação e reforço estrutural.** São Paulo, 1996. Disponível em: <<http://www.unicomengenharia.com.br/servico/recuperacao-e-reforco-estrutural-40.html>>. Acesso em 29 mai 2017.

PERBOIRE, N. **Estruturas de Concreto Armado: práticas peculiares dos reforços.** Olinda: LIVRO RÁPIDO, 2010.

SILVEIRA, L. **Reparos de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://englucianosilveira.blogspot.com.br/2009/06/reparos-de-estruturas-de-concreto.html>>. Acesso em: 29 mai 2017.