



Primeiro-Tenente (RM2-EN) Larissa Azevedo Curty

Ajudante da Divisão de Bioengenharia do Hospital Naval
Marcílio Dias (HNMD)

Graduada em Engenharia Civil pela UENF (Universidade Estadual do Norte Fluminense), Mestrado em Engenharia Civil Ênfase em Estruturas pela PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro).

APLICAÇÃO DE FIBRA DE CARBONO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

1. INTRODUÇÃO

As fibras de carbono começaram a ser comercializadas no princípio da década de 1960, após extenso programa de pesquisa desenvolvido nos Estados Unidos, Inglaterra e Japão (Emmons et al., 1998b).

A idéia de reforçar estruturas de concreto armado com CFC (Compósitos de Fibras de Carbono) surgiu no início dos anos 80, no Japão. Os abalos sísmicos nessa região da Ásia, revelaram, através de diversos danos causados às estruturas, a necessidade de recuperação e reforço em curto intervalo de tempo. Esses foram os principais aspectos considerados para utilização desse material no confinamento de pilares (Machado, 2004).

Os construtores de automóveis passaram a utilizar os materiais compósitos de fibras de carbono para reduzir o peso das peças dos automóveis, o que leva a um menor consumo de combustível. Na indústria petrolífera, é cada vez maior a necessidade de redução do peso dos cabos de apoio de construções *offshore* e dos tubos de bombeamento de óleos.

As chapas de aço coladas com resina epóxi surgiram na década de 1960, na Europa e na África do Sul, sendo utilizadas a partir dos

anos setenta como método de reforço à flexão e à força cortante em vigas e lajes. Um aspecto negativo que este método apresentou foi o de problemas de durabilidade ligados à corrosão. Em 1980, a chapa de aço passou a ter a concorrência do reforço estrutural utilizando-se CFC, que faz parte de uma classe de materiais conhecidos por *Fibre Reinforced Polymers* (FRP), constituídos, basicamente, por duas fases: fibras e matriz polimérica. A Tabela 1 apresenta a comparação entre os principais parâmetros das fibras de carbono e das chapas de aço.

No Brasil, o uso da técnica do reforço com CFC ocorreu pela primeira vez em 1998 com o reforço do viaduto Santa Tereza em Belo Horizonte (Figura 1).



Figura 1 – Laje e viga reforçada no viaduto de Santa Tereza.
(http://www.cesec.ufpr.br/pet/titulo/biblioteca/seminarios/arquivo_seminarios/construcao_civil/reforco_estrutural_com_fibras_de_carbono.pdf, visitado em 20/09/08).

Parâmetro	Fibra de Carbono	Chapa de Aço
Densidade (kg/m ³)	1800 (Baixa)	7850 (Alta)
Resistência à tração (MPa)	3800 (Muito alta)	620 (Alta)
Módulo à tração (GPa)	227	200
Deformação na Ruína (%)	1,7	12
Corrosão	Não	Sim
Comprimento	Qualquer	Limitada
Manuseio e Aplicação	Fácil	Difícil
Resistência à Fadiga	Muito Boa	Adequada
Custo do Material	Alto	Baixo
Custo da Aplicação	Baixo	Alto
Espessura final	Muito Baixa	Baixa

Tabela 1 - Comparação entre reforço com chapas de aço e CFC

O sistema de reforço com CFC também é indicado quando ocorre mudança de utilização da estrutura, erros de projetos ou construção e para a reabilitação após abalos sísmicos ou incêndios. Esse sistema é indicado para reforço de vigas, lajes, paredes, pilares etc.

A sua boa flexibilidade permite a adaptação a várias formas, e a facilidade de aplicação leva à economia de custos e à redução do tempo de paralisação, além de ser não corrosivo, o que garante maior durabilidade e quase nenhuma manutenção.

Como desvantagens, o sistema de reforço com CFC apresenta incompatibilidade com superfícies irregulares, baixa resistência ao fogo e à exposição a raios ultravioletas, e pode estar sujeito ao vandalismo. Porém estes problemas também são apresentados por outros sistemas de reforço, como as chapas de aço coladas com resina epóxi. (SILVA FILHO, 2007).

Quando a tecnologia de reforço com CFC é usada no Brasil, as referências são as normas técnicas norte-americanas (ACI 440 2R:02 (2008)) e o boletim 14 da FIB (Federação Internacional do Concreto). No entanto, a tendência é de que o país, em breve, tenha sua própria norma técnica. Estimulado pela ABCE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) foi criado um comitê na ABNT para estudar a criação de uma NBR sobre aplicação de fibra de carbono em estruturas de concreto armado (CIA . DE CIMENTO ITAMBÉ, 2015). O nome do comitê é "ABNT/ CEE-193 – Comissão de Estudo Especial de Materiais Não Convencionais para Reforço de Estruturas de Concreto" (ABNT, 2015).

O sistema de reforço com CFC pode ser apresentado nas seguintes formas:

- Fios de fibra de carbono: são enrolados sob tensão e colados sobre a superfície do concreto ou enrolados a seco e então curados a quente (Figura 2);



Figura 2 - Fios de fibra de carbono.

- Chapas pultrudadas: são chapas de polímeros reforçados com fibras de carbono impregnadas com resina epóxi ou poliéster, que resultam em perfis contínuos com os mais diversos formatos. O reforço se dá pela colagem destes perfis sobre a superfície de concreto (Figura 3);



Figura 3 - Chapa pultrudada de fibra de carbono.

- Tecidos de fibra de carbono: são tecidos pré-impregnados (preg), colados sobre a superfície com resina epóxi, com espessura similar a do papel de parede. Este sistema segue exatamente a curvatura do elemento e permite a aplicação em cantos vivos (Figura 4).

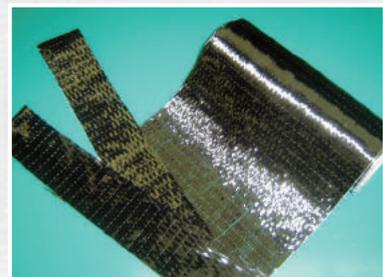
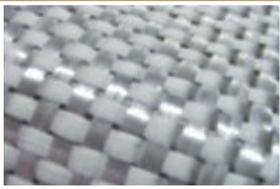


Figura 4 - Tecido de fibra de carbono.

2. TIPOS DE FIBRAS

Em reforço estrutural, além das fibras de carbono, podem ser utilizadas também fibras de vidro e aramida. As fibras são os elementos que proporcionam a resistência e a rigidez que se pretende atribuir aos materiais compósitos (Figuras 5, 6 e 7).



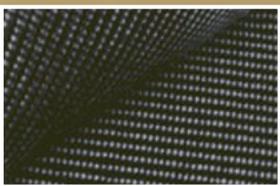
Fibras de Carbono: Rigidez, leveza, baixa deformação, satisfatória condutividade térmica e reduzido peso específico.

Figura 5 – Fibras de Carbono (www.fibertex.com.br, visitado em 2008).



Fibras de Aramida: Grande resistência mecânica; não corrói em água doce nem em água salgada e é incombustível.

Figura 6 – Fibras de Aramidas (www.fibertex.com.br, visitado em 2008).



Fibras de Vidro: Bom isolante térmico, boa resistência ao fogo, alta resistência mecânica etc. É um material compósito produzido basicamente a partir da aglomeração de finíssimos filamentos flexíveis de vidro com resina poliéster (ou outro tipo de resina), e posterior aplicação de uma substância catalisadora de polimerização.

Figura 7 – Fibras de vidro (www.fibertex.com.br, visitado em 2008).

Consideração	Fibra de Carbono	Fibra de Vidro	Fibra de Aramida
Alcalidade/Exposição à meios ácidos	Alta resistência	Não tolera	Não tolera
Expansão térmica	Próximo de zero, pode causar altas tensões de aderência	Similar ao concreto	Próximo de zero, pode causar altas tensões de aderência
Condutividade elétrica	Alta	Excelente isolante	Excelente isolante
Tolerância ao impacto	Baixa	Alta	Alta
Fluência e fadiga	Alta resistência	Baixa resistência	Baixa resistência

Quadro 1 - Comparativo entre as características dos diversos tipos de fibra.

3. COMPÓSITOS DE FIBRAS DE CARBONO

Os materiais compósitos são uma combinação de pelo menos dois materiais, que após a união ainda são identificados, sendo que juntos as propriedades do compósito por vezes se tornam superiores as de seus constituintes em separado (Figuras 8 e 9).

Os compósitos são formados pela matriz e por fibras dispostas aleatoriamente ou em direções definidas. A matriz serve como meio de transferência e distribuição de tensões entre as fibras, protege de agressões exteriores e impede os deslocamentos horizontais e transversais das fibras. As fibras têm a finalidade de restringir a propagação das fissuras funcionando como ponte de transferência das solicitações, garantindo assim a capacidade resistente após a abertura da mesma.

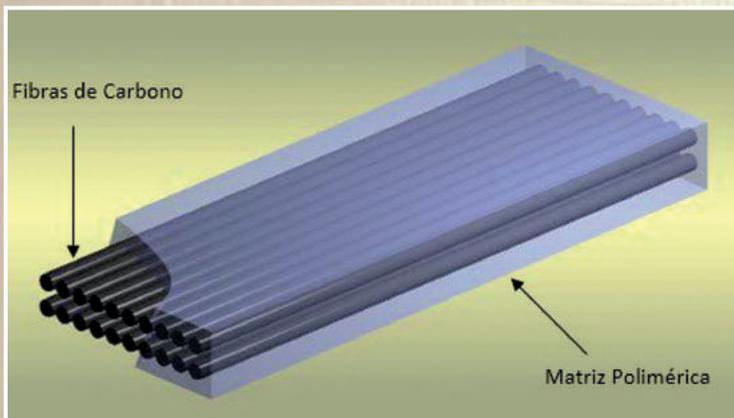


Figura 8 – Compósito de fibra de carbono.

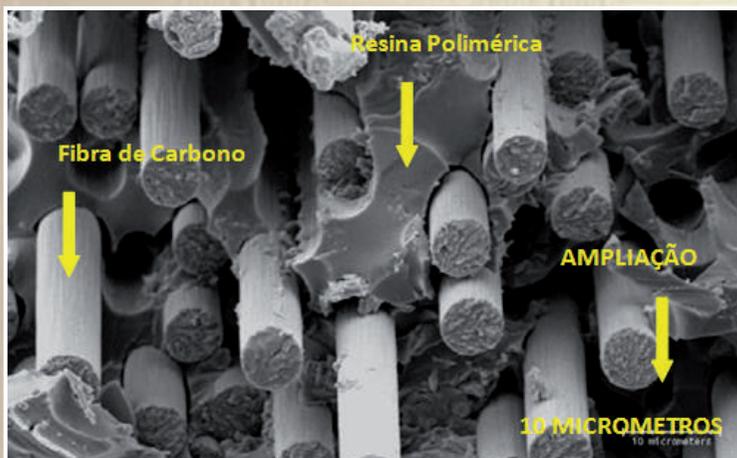


Figura 9 – Ampliação em microscópio eletrônico da matriz polimérica.

4. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE REFORÇO COM CFC

A aplicação do reforço com CFC deve ser feita por profissionais especializados, para evitar que ocorram problemas na execução da colagem que posteriormente podem levar ao deslocamento prematuro do reforço. Portanto, a fase de preparação e colagem torna-se primordial para um bom desempenho da estrutura reforçada.

A superfície deve estar sã, isenta de qualquer partícula solta, pinturas, desmoldantes, contaminações de graxa ou de quaisquer outros materiais estranhos. Reparos do substrato, preenchimentos de bolhas e vazios e nivelamentos das superfícies devem ser realizados com argamassa epóxi tipo Sikadur® 43 ou a mistura de Sikadur® 30 com areia de quartzo Sikadur® 506 na proporção 1:1 em peso (SIKA 2010).

As figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 apresentam as etapas de execução do reforço em CFC de um console de concreto armado utilizado na dissertação de Curty, 2009.



Figura 10 - Regularização da superfície com o uso de uma talhadeira.



Figura 11 - Utilização de escova de aço em toda superfície de aplicação do CFC. Arredondamento das quinas e lixamento da superfície com o uso de uma esmerilhadeira, a fim de obter superfície plana.



Figura 14 - Utilização do rolo para obtenção de rugosidade para aderência do CFC.

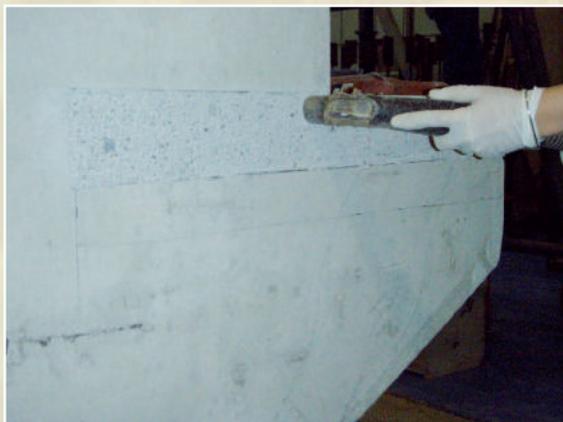


Figura 12 - Uso de aspirador de pó para retirar qualquer poeira existente na superfície sobre a qual é colado o CFC.



Figura 15 - Colocação do CFC na superfície.



Figura 13 - Realizar a mistura da resina epóxica na proporção de 1:4, com posterior aplicação na superfície do concreto.



Figura 16 - Aplicação de mais uma demão de resina epóxica.

5. APLICAÇÕES DO CFC NA ENGENHARIA CIVIL

As Figuras 17 a 23 mostram fotos de aplicações dos compósitos de fibras de carbono em reforços de estruturas de concreto.



Figura 17 – Reforço da Torre da Rede Globo de Televisão no Rio de Janeiro RJ. (http://www.cesec.ufpr.br/pet/titulo/biblioteca/seminarios/arquivo_seminarios/construcao_civil/reforco_estrutural_com_fibras_de_carbono.pdf, visitado em 20/09/08).



Figura 18 – Reforço de pilares retangulares e de colunas. (http://media.wiley.com/product_data/excerpt/61/04716812/0471681261.pdf, visitado em 20/09/08).



Figura 19 – Reforço em console. (<http://www.kcg.cc/index.php?id=117>, visitado em 18/05/2009).



Figura 20 – Reforço à flexão e à força cortante de viga externa do Edifício da Alcan Alumino do Brasil em Ouro Preto. (http://www.cesec.ufpr.br/pet/titulo/biblioteca/seminarios/arquivo_seminarios/construcao_civil/reforco_estrutural_com_fibras_de_carbono.pdf, visitado em 20/09/08).



Figura 21 – Fábrica de Laticínios Itambé em Sete lagoas MG. (http://www.cesec.ufpr.br/pet/titulo/biblioteca/seminarios/arquivo_seminarios/construcao_civil/reforco_estrutural_com_fibras_de_carbono.pdf).



Figura 22 – Fábrica de Laticínios Itambé em Sete lagoas MG, onde foi executado um reforço ao redor dos furos na laje.

(http://www.cesec.ufpr.br/pet/titulo/biblioteca/seminarios/arquivo_seminarios/construcao_civil/reforco_estrutural_com_fibras_de_carbono.pdf, visitado em 20/09/08).



Figura 23 – Reforço da viga à flexão e à força cortante na Fundação Mineira de Educação e Cultura – FUMEC.

(http://www.cesec.ufpr.br/pet/titulo/biblioteca/seminarios/arquivo_seminarios/construcao_civil/reforco_estrutural_com_fibras_de_carbono.pdf, visitado em 20/09/08).

6. CONCLUSÃO

Este artigo visou apresentar algumas considerações sobre compósito de fibra de carbono. Conclui-se que, devido às propriedades mecânicas e à facilidade de aplicação, os materiais compósitos poliméricos têm se mostrado viáveis comparados a materiais convencionais, tais como chapas de aço. No entanto, faz-se necessário constantes estudos que possam avaliar, com maior precisão, a resistência e o comportamento dos mais variados tipos de peças de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono, de modo a subsidiar normas nacionais sobre o assunto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas <http://www.abnt.org.br/cb-193> , visitado em 2015
- **CESEC** – Centro de Estudos de Eng. Civil Professor Inaldo Ayres Vieira da Universidade Federal do Paraná <http://www.cesec.ufpr.br>, visitado em 20/09/08.
- **Cia. de Cimento Itambé** - <http://www.cimentoitambe.com.br/fibra-de-carbono-aguarda-norma-tecnica-brasileira>, visitado em 2015.
- **CURTY, L.A.**, Estudo Experimental dos Consoles Curtos de Concreto Armado Reforçados com Compósitos de Fibras de Carbono . Dissertação de Mestrado, PUC-RIO, Rio de Janeiro 2009.
- **EMMONS, P. H.; VAYSBURD, A. M.; THOMAS, J.** Strengthening Concrete Structures, Part II. Concrete International, Detroit, v. 20, n. 4, p.56-60, abr. 1998.b.
- **FIBERTEX** – Catálogo Eletrônico dos Produtos; www.fibertex.com.br, visitado em 2008.
- **KABBANI CONSTRUCTION GROUP**, www.kcg.cc , visitado em 2009.
- **MACHADO, M, G.** Estudo Experimental da Ductilidade de Vigas em Concreto Armado Reforçadas à Flexão Utilizando Compósitos com Tecidos de Fibra de Carbono. Dissertação de Mestrado – Civil, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004.
- **SIKA** – Catálogo Eletrônico de Produtos, www.sika.com.br, visitado em 2010.
- **SILVA FILHO, J. J. H.**, Reforço à Torção de Vigas de Concreto Armado com Compósitos de Fibras de Carbono. Tese de Doutorado, PUC-RIO, Rio de Janeiro, 2007.