

## REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM APLICAÇÃO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO COM FIBRA DE CARBONO. VANTAGENS E DESVANTAGENS

JUNIOR, Pedro Roberto de Andrade<sup>1</sup>

REIS, Elton Aparecido Prado dos<sup>2</sup>

**RESUMO:** Dentre os vários métodos de reforço estrutural disponíveis no mercado está o emprego de compósitos poliméricos reforçados com fibra de carbono, popularmente conhecidos por “fibra de carbono”. O presente trabalho traz uma abordagem generalista do tema, caracterizando os sistemas construtivos comumente utilizados, as patologias estruturais mais encontradas e suas causas, e a consideração pela utilização de reforço estrutural com compósito polimérico com reforço de fibra de carbono, especificando sua composição, características, forma de aplicação, vantagens e desvantagens. Faz, ainda, um comparativo entre o reforço proposto e o reforço com aplicação de concreto armado.

**Palavras-chave:** REFORÇO ESTRUTURAL; FIBRA DE CARBONO; CONCRETO ARMADO; ALVENARIA ESTRUTURAL; COMPÓSITOS; POLÍMEROS.

### 1 INTRODUÇÃO

Temos inúmeros sistemas construtivos utilizados na construção civil de edificações. Dentre os diversos sistemas construtivos destacamos a alvenaria de vedação, alvenaria estrutural, steel frame, wood frame e paredes de concreto. No Brasil o sistema construtivo mais empregado é o da alvenaria de vedação ou, como alguns denominam, alvenaria convencional (PEREIRA, 2018).

O sistema de alvenaria de vedação, ou alvenaria convencional, é aquele que se utiliza de lajes, vigas e pilares, normalmente confeccionados em concreto armado, para a composição da parte estrutural da edificação, a responsável pela transmissão das cargas às quais a edificação está submetida, sendo as paredes utilizadas somente como vedação ou compartimentação da

---

<sup>1</sup> Discente do 8º termo do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antônio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. pedandjr@outlook.com.

<sup>2</sup> Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antônio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. Doutor em Ciência e Tecnologia dos Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista. elton.reis@toledoprudente.edu.br. Orientador do trabalho.

porção interna da edificação. Por não possuir função estrutural, as paredes normalmente são confeccionadas com blocos cerâmicos.

Possui como vantagens o fato de não necessitar de mão de obra especializada em sua elaboração, ter grande disponibilidade de mão de obra e materiais empregados, facilitar reformas e alterações posteriores e, ainda, suportar a execução de grandes vãos.

Dentre as desvantagens podemos citar o alto custo global da edificação, maior tempo de execução e, principalmente por se tratar de um método construtivo antigo e arcaico, gera uma quantidade muito grande de resíduos.

Outro sistema construtivo que começa a se destacar no Brasil, principalmente em construções de edificações de múltiplos andares, até 4 andares, não se limitando a esse número, é o de alvenaria estrutural.

Nesse sistema substitui-se a configuração de lajes, vigas e pilares em concreto armado por blocos estruturais, de concreto ou cerâmicos, que são autoportantes, atuando diretamente na transferência das cargas da edificação para a fundação e para o solo, conseqüentemente.

Possui como principais vantagens a redução no consumo de formas de madeira e materiais, principalmente concreto e aço, além de proporcionar uma obra com maior rapidez e menor custo, quando comparada ao sistema de alvenaria convencional acima tratado, gerando ainda uma obra mais limpa e organizada, com menor geração de resíduos.

Tem como desvantagem o fato de não permitir alterações futuras, principalmente quando se trata de remoção ou abertura de paredes e vãos, tendo ainda a necessidade de compatibilização prévia dos projetos hidráulicos e elétricos, necessidade de emprego de mão de obra qualificada e limitação de vãos livres.

Pois bem, independentemente do sistema construtivo empregado, e vamos falar aqui somente na alvenaria de vedação, convencional, e na alvenaria estrutural, certo é que não estamos, ainda que tenhamos um rigoroso controle construtivo, livres da ocorrência de patologias, que são os danos ocorridos nas edificações durante sua vida útil.

Limitando o campo de estudo às edificações construídas com o emprego de lajes, vigas e pilares em concreto armado e de alvenaria estrutural, temos como patologias recorrentes aquelas derivadas do subdimensionamento das cargas atuantes nas edificações. Tal subdimensionamento pode levar a falhas na

estrutura, causando deslocamentos não considerados quando dos cálculos estruturais, recalques de fundação, trincas, fissuras e rachaduras.

Outra causa importante de ocorrência de patologias construtivas reside na baixa qualidade dos materiais empregados na construção civil, bem como erros e falta de controle dos processos construtivos.

As trincas, fissuras e rachaduras causadas pelo subdimensionamento da estrutura podem não comprometer a utilização da edificação (quando se tratam de fissuras de espessuras muito pequenas, algo em torno de 1,00 milímetro, que não evoluem com o tempo e que não se apresentam com alguma inclinação, já que as trincas que se formam com ângulo de 45° podem indicar recalque de fundação) e podem, também, levar a desabamentos parciais da estrutura ou até mesmo, em último caso, ao completo colapso.

Quando identificada uma patologia causada pelo subdimensionamento da estrutura ou, ainda, pelo excesso de carga, decorrente da utilização da edificação para finalidade diversa da inicialmente projetada, por exemplo, uma das formas de solucionar o problema está no reforço da estrutura, a fim de aumentar a capacidade da estrutura de resistir aos esforços solicitantes.

## **2 MÉTODOS DE REFORÇO ESTRUTURAL**

Existem alguns métodos de reforço estrutural, como, por exemplo, a aplicação de concreto de alta resistência ou instalação de placas de aço nos locais mais comprometidos. Tais métodos são tradicionais, vem sendo amplamente aplicados, mas estão perdendo espaço para um processo mais ágil e prático, a aplicação de fibra de carbono (SIQUEIRA, 2018).

O reforço estrutural com fibra de carbono, ao contrário do que o nome pode sugerir, na verdade é executada com a aplicação de um compósito polimérico reforçado com fibras de carbono.

## **3 COMPÓSITO POLIMÉRICO COM REFORÇO DE FIBRA DE CARBONO**

Os compósitos são materiais formados pela união de diversos outros materiais, tendo por objetivo a elaboração de um material de propriedades diferentes daqueles empregados em sua elaboração.

Os compósitos possuem duas fases, a matriz, que pode ser cerâmica, polimérica e metálica, e a fase dispersa, que servem como carga.

A matriz é formada por um material contínuo que envolve a fase dispersa. As propriedades que o material apresentará é uma combinação de fatores que envolvem a geometria do material componente da fase dispersa, sua distribuição, orientação e, também, a afinidade entre os materiais a serem empregados na confecção da matriz polimérica.

Aos compósitos formados por uma matriz polimérica é dado o nome de polímero.

A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Assim, um polímero consiste em uma macromolécula composta por milhares de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria prima para a produção de um polímero é o monômero, ou seja, uma molécula com apenas uma unidade de repetição.

Muitas propriedades físicas dos polímeros são dependentes do comprimento da molécula, isto é, sua massa molar. Como polímeros normalmente envolvem uma larga faixa de valores de massa molar, é de se esperar grande variação de suas propriedades.

Tal compósito polimérico é reforçado em suas propriedades físico-mecânicas com a adição de fibras de carbono, o elemento estrutural que garantirá o reforço pretendido.

As fibras de carbono resultam do tratamento térmico de fibras precursoras orgânicas, tais como o poliacrilonitril (PAN) ou com base no alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PITCH) em um ambiente inerte e, também, através de fibras de rayon. O processo de produção consiste na oxidação dessas fibras precursoras, seguido do processamento a elevadas temperaturas. Nesse processo térmico as fibras resultantes apresentam os átomos de carbono perfeitamente alinhados ao longo da fibra precursora, característica que confere extraordinária resistência mecânica ao produto final (MACHADO, 2010).

Ainda segundo MACHADO (2010), os sistemas compostos estruturados que utilizam as fibras de carbono como elemento resistente apresentam as seguintes características:

- Extraordinária resistência mecânica;
- Extraordinária rijeza;

- Bom comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas;
- Elevada resistência a ataques químicos diversos;
- Não são afetados pela corrosão por se tratar de um produto inerte;
- Estabilidade térmica e reológica;
- Extrema leveza, devido ao baixo peso específico do sistema, chegando ao ponto de não ser considerado seu peso próprio nos reforços.

A Norma norte-americana ACI 440 indica, de maneira genérica, as seguintes propriedades dos compósitos reforçados com fibra de carbono:

**TABELA 1** – Tipos e principais características de compósitos reforçados com fibra de carbono

Tipo de fibra de carbono	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência Máxima de Tração (MPa)	Deformação de Ruptura (%)
De uso geral	220 – 235	< 3.790	> 1,2
Alta resistência	220 – 235	3.790 – 4.825	> 1,4
Ultra alta resistência	330 – 235	4.825 – 6.200	> 1,5
Alto módulo	345 – 515	> 3.100	> 0,5
Ultra alto módulo	515 – 690	> 2.410	> 0,2

Fonte: MACHADO, 2010

Quanto à aplicação do compósito reforçado com fibras de carbono há pequena divergência na literatura pesquisada com relação aos passos que devem ser seguidos. Alguns autores apresentam cinco passos, outros sete passos.

De forma compilada, temos o seguinte processo executivo para reforço de estruturas de concreto com compósito reforçado com fibra de carbono:

- a. Projeto de reforço da estrutura;
- b. Recuperação do substrato de concreto que receberá o reforço;
- c. Regularização das imperfeições da superfície do substrato;
- d. Aplicação de resina de imprimação;
- e. Aplicação de resina de laminação;
- f. Aplicação do tecido de fibra de carbono;

- g. Aplicação da segunda camada de resina de laminação; e
- h. Acabamento.

O projeto de reforço da estrutura é de fundamental importância porque é através dele que se analisa a estrutura danificada que necessita ser reforçada, com a identificação das causas da patologia observada, as ações a serem tomadas, a escolha do material a ser empregado e, principalmente, os cálculos e suas análises que determinam qual material será empregado, sua espessura e sentido de aplicação das fibras.

Através do projeto, e com a escolha do método de reforço, também é possível estimar custos e prazo para execução da obra.

Todo e qualquer trabalho de reforço estrutural, independentemente do método a ser empregado, deve ser feito em uma estrutura íntegra. O substrato que receberá o material de reforço deve possuir suficiente resistência mecânica para que seja possível a transferência de cargas do mesmo para o elemento a ser aplicado.

Assim, deve ser feita a recuperação do substrato de concreto que receberá o reforço, com a remoção de todas as patologias encontradas no material, seja a remoção do concreto desagregado do local, eliminação e tratamento de pontos de corrosão das barras da armadura do local, recuperação de fissuras e trincas estruturais, mediante injeção de epóxi sob pressão ou de resina.

Após a recuperação do substrato é necessária uma minuciosa regularização do mesmo, com a limpeza da superfície que receberá o compósito de reforço, com a mais completa remoção possível de poeira, pó, óleos e graxas, partículas sólidas não totalmente aderidas, cobrimento de tinta e argamassas.

Devem, ainda, ser eliminados quaisquer cantos vivos, mediante arredondamento da superfície com o emprego de lixas. Tal procedimento evita a concentração de tensões na fibra de carbono a ser aplicada e elimina eventuais espaços vazios entre o concreto e o sistema aplicado por colagem.

Importante ressaltar que a superfície que receberá o material de reforço deve estar, além de limpa, totalmente seca, sem qualquer sinal de umidade, que poderia interferir no processo de colagem do compósito, comprometendo todo o trabalho.

Deve-se, ainda, garantir que não haja qualquer imperfeição que possa prejudicar o perfeito contato de toda a superfície do material de reforço a ser

aplicado, sejam rebarbas, rugosidades, brocas ou imperfeições superficiais significativas.

Observação importante a ser feita está no fato de que se houver qualquer tipo de obstáculo no local da instalação do reforço de fibra de carbono ele deve ser retirado ou afastado, de maneira que a aplicação possa ocorrer sem qualquer interferência. Vale frisar que, pela pequena espessura do material, da ordem de milímetros, e por conta de sua maleabilidade, pouco espaço é suficiente para possibilitar a aplicação do material.

Após o tratamento e regularização da superfície onde será aplicado o reforço, geralmente a etapa mais demorada da obra, passa-se à efetiva aplicação do compósito.

O primeiro passo dessa etapa é a aplicação de resina de imprimação.

Tal etapa é de vital importância ao processo, vez que através dela aplica-se imprimador primário, que tem a função de penetrar nos poros do concreto a ser reforçado, estabelecendo, juntamente com a resina de laminação, a perfeita ligação entre o material de reforço e o substrato de concreto.

Após a aplicação e devida cura da resina de imprimação passa-se à etapa de efetiva colocação do material. Tal pode ocorrer de duas formas distintas, dependendo de como será aplicada a resina de laminação, resina esta que tem a função de fixar o compósito no concreto.

Pode-se aplicar tal resina nas tiras do compósito, em uma bancada, para somente depois “colar” o material no concreto ou, aplicar a resina de laminação diretamente no concreto e, então, fixar as tiras do compósito.

Depois da fixação do compósito reforçado com fibra de carbono no local correto, observando as diretrizes trazidas pelo projeto elaborado por profissional competente, importante que seja feita uma segunda aplicação de resina de laminação, que garantirá a perfeita fixação do reforço.

O acabamento, após respeitado o tempo de cura da resina de laminação aplicada, pode ser executado com pinturas ou materiais de alto desempenho, observando sempre que as resinas de laminação não possuem bom desempenho frente às ações de fogo, calor e raios ultravioletas, sendo interessando que o acabamento possibilite um incremento dessas importantes características.

#### **4 PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DA ADIÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL COM COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO**

Quando se detecta a necessidade de aplicação de reforço estrutural, seja pelo subdimensionamento da estrutura ou alteração de uso posterior da estrutura, algumas particularidades do emprego de compósito reforçado com fibra de carbono podem ser atrativas. Por outro lado, vários aspectos negativos podem ser elencados.

Positivamente podemos considerar a rapidez de aplicação do reforço com compósito polimérico com fibra de carbono, quando comparado ao reforço com emprego de concreto de alta resistência ou instalação de placas de aço.

Outra característica importante do método reside no fato de que não há, por conta das milimétricas dimensões, aumento das dimensões dos elementos estruturais a serem reforçados.

O ganho de resistência é muito grande, por conta da alta resistência do material. Como podemos observar na Tabela 1 acima o compósito reforçado com fibra de carbono de uso geral tem resistência à tração na ordem de 3.790 MPa, muito superior ao concreto armado, concreto de alta resistência e placas de aço.

Estudos, dentro os quais podemos citar Bronze, 2016, que comparam os custos de elaboração de reforço com emprego de armadura e concreto de alta resistência com os custos para aplicação de reforço com compósito reforçado com fibra de carbono, e concluem que o reforço com fibra de carbono tem custos na ordem de  $\frac{1}{4}$  dos custos de métodos tradicionais, segundo tabela comparativa abaixo:

**TABELA 2** – Comparativo de custos de aplicação de reforço em concreto armado com reforço com compósito de fibra de carbono

Item	Reforço com concreto armado	Reforço com compósito de fibra de carbono
Materiais	R\$ 5.843,12	R\$ 1.722,74
Mão-de-obra	R\$ 10.235,75	R\$ 2.615,51
Equipamentos	R\$ 785,00	R\$ 140,00
Custo total	R\$ 16.863,87	R\$ 4.478,25
Quantidade de mão-de-obra	6 funcionários	3 funcionários
Prazo	2 semanas	1 semana

Fonte: BRONZE, 2016, p. 74

Entretanto, nem tudo são vantagens.

Dentre as desvantagens podemos citar a pouca resistência do compósito polimérico reforçado com fibra de carbono ao fogo, que torna necessário a aplicação de revestimento para compensar essa deficiência do material.

Outra desvantagem, mas que é compensada quando considerados os custos globais da instalação, é o elevado custo para aquisição do material.

Por fim, mas não menos importante, podemos citar a impossibilidade de aplicação do material de reforço composto por polímeros reforçados com fibra de carbono em superfícies irregulares, onde é impossível a perfeita fixação do mesmo.

## **5 CONCLUSÃO**

O reforço com a utilização de composto polimérico com fibra de carbono mostra-se, dependendo da situação e das características do elemento a ser reforçado, viável, ainda que o custo de aquisição do material possa parecer mais elevado.

Observados o projeto elaborador por profissional competente, bem como as condições para aplicação do produto, os custos mais altos de aquisição do material são compensados nos demais custos globais da obra, tornando uma opção a ser considerada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRONZE, Ricardo Alves. **Estudo comparativo: uso do sistema de fibras de carbono e sistema convencional para o reforço de estruturas de concreto / Ricardo Alves Bronze**. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017651.pdf>. Acesso em 10 de agosto de 2019.

DALDEGAN, Eduardo. Reforço de estruturas com fibra de carbono. **Engenharia Concreta**, 2017. Disponível em: <https://engenhariaconcreta.com/reforco-de-estruturas-com-fibra-de-carbono/>. Acesso em: 19 de agosto de 2019.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado Com Fibras de Carbono**. São Paulo, 2010.

MAZER, Wellington. Fibra de carbono é usada para reforçar estruturas de concreto já existentes. **AECweb**. 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](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: 10 de agosto de 2019.

PEREIRA, Caio. Alvenaria Estrutural – Vantagens e Desvantagens. **Escola Engenharia**, 2016. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria-estrutural/>. Acesso em: 19 de agosto de 2019.

PEREIRA, Caio. Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil. **Escola Engenharia**, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/>. Acesso em: 19 de agosto de 2019.

SANTOS, Altair. Fibra de carbono aguarda norma técnica brasileira. **Massa Cinzenta, Portal Itambé**. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/fibra-de-carbono-aguarda-norma-tecnica-brasileira/>. Acesso em: 15 de agosto de 2019.

SIQUEIRA, Antonio Augusto Sousa. Fibra de carbono na construção civil.

**Engenharia Moderna**, 2018. Disponível em:

<https://www.engenhariamoderna.net/single-post/2018/02/23/Fibra-de-Carbono-na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil>. Acesso em: 19 de agosto de 2019.