POSSIBILIDADES DE REFORÇO COM O USO DE FRPS

DALFRÉ, Gláucia (1); PARSEKIAN, Guilherme (2)

(1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv), UFSCar, glaucia.dalfre@ufscar.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv), UFSCar, parsekian@ufscar.br

Resumo: *Os compósitos de polímeros reforçados, ou estruturados, com fibras (PRF ou FRP, em língua inglesa) estão sendo cada vez mais utilizados para reforço de estruturas, sejam elas de concreto armado e protendido, sejam de aço, alvenaria ou madeira. Isso porque esses materiais possuem excelentes propriedades mecânicas, destacando-se a alta resistência e o alto módulo de elasticidade, o baixo peso próprio e, principalmente, a resistência à corrosão. Neste sentido, o objetivo desse trabalho é apresentar alguns tipos de sistemas de reforço baseados no uso de FRPs.*

Palavras-chave: *Técnicas de reforço, FRPs*

Área do Conhecimento: *Tecnologia de componentes para construção*

1 INTRODUÇÃO

Diversas pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento de novas tecnologias que tornem as estruturas mais eficientes e seguras. Nesse sentido, os elementos estruturais podem ser reforçados com o uso de diversos sistemas, tais como o baseado no aumento da seção transversal (encamisamento) com concreto armado, perfis metálicos ou chapas de aço externamente coladas ao concreto, protensão, aço-memória, com os polímeros reforçados, ou estruturados, com fibras (PRFs ou FRPs, *Fiber Reinforced Polymers*).

Segundo o *Fib Bulletin 90* (2019), o atual estado da arte de sistemas de reforço de elementos estruturais indica que os FRPs podem ser encontrados na forma de: (a) laminados unidirecionais, produzidos por meio de pultrusão e com espessura média de 1 mm; (b) mantas e tecidos flexíveis compostos por fibras posicionadas em uma ou duas direções, respectivamente, que geralmente são impregnadas *in situ* ou, raramente, pré-impregnadas; e (c) barras ou perfis também produzidos por meio de pultrusão. O campo de reforço está em constante desenvolvimento e hoje já podem ser encontradas distintas técnicas de aplicação, tal como o apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Técnicas de reforço



Fonte: Adaptado de *Fib Bulletin* 90 (2019)

Vários autores estudaram técnicas de reforço com FRPs e seu comportamento, entre esses pode-se citar Azevedo (2008), Bakis *et al.* (2002), Dalfré (2013), De Lorenzis *et al.* (2007), Hasan *et al.* (2020), Monteiro (2017). Manuais sobre o uso desses sistemas estão disponíveis, por exemplo, em ISIS (2006). O Grupo de Pesquisa da UFSCar desenvolve o tema, em especial sobre estudo de durabilidade, relatados em Ferreira (2019), Oliveira (2019) e Mazzú (2020). Neste artigo apresentam-se detalhes das principais técnicas de reforço utilizando FRPs.

2 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE REFORÇO BASEADAS NO USO DE FRPS

2.1 Técnica EBR

A técnica mais utilizada e conhecida, a EBR (*Externally Bonded Reinforcement*), é baseada na colagem de mantas, tecidos ou laminados de FRPs no substrato de concreto (Figura 2). Embora esta nomenclatura seja muito utilizada e já esteja consolidada, o *Fib Bulletin 90* (2019) apresenta o termo EAR (*Externally Applied Reinforcement*), o qual pode ser utilizado tanto para sistemas de reforço aderidos ou não aderidos ao concreto. Assim, a nova designação de SBR (*Surface Bonded Reinforcement*) deve começar a ser utilizada devido a atualização e recomendação da norma europeia. Esta técnica pode ser aplicada no substrato de concreto tracionado para atuar como reforço à flexão, cisalhamento, torção e para encamisamento de elementos. Embora a técnica EBR seja muito utilizada, o incremento da capacidade portante do elemento é limitado pelo destacamento do FRP, o qual ocorre de forma frágil e sem aviso fazendo com que, muitas vezes, a tensão máxima atuante no material de reforço seja muito inferior à resistência última à tração. Além disso, o sistema de reforço, sem proteção, fica exposto à agressividade ambiental, atos de vandalismo, incêndio, dentre outros. De modo a evitar o destacamento precoce do FRP, avanços na aplicação da técnica SBR/EBR foram propostos. Neste âmbito citam-se, por exemplo, as técnicas NSM, MF-EBR, MF-FRP, EBRIG e EBROG.

Figura 2 – Técnica SBR/EBR



Fonte: Próprio autor

2.2 Técnica NSM

Segundo as normas ACI 440.2R (2017) e *Fib Bulletin* 90 (2019), a técnica *Near Surface Mounted* (NSM) é baseada no reforço de elementos estruturais de concreto armado por meio da inserção de barras ou laminados de FRP em entalhes efetuados no cobrimento de concreto (Figura 3). No passado, barras de aço convencional eram utilizadas como material de reforço. Entretanto, de modo a evitar o processo corrosivo, a barra de aço pode ser substituída por barras de FRPs. Neste caso, as dimensões reduzidas dos laminados facilitam a instalação do material de reforço e, também, minimizam o risco de interferência com as armaduras existentes.

2.3 Técnicas MF-EBR e MF-FRP

A técnica MF-EBR (*Mechanically Fastened and Externally Bonded Reinforcement*) é baseada na colagem de laminados, mantas ou tecidos multidirecionais na superfície de elementos de concreto armado e ancoragem com parafusos metálicos, simultaneamente, reduzindo a concentração de tensões em toda a extensão do reforço e aumentando a resistência da ligação (Figura 4a).

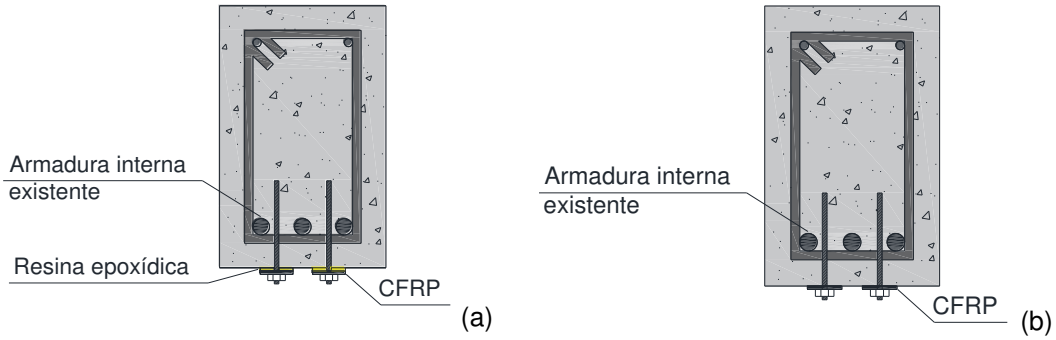
Figura 3 – Técnica NSM



Fonte: *Fib Bulletin* 90 (2019)

A técnica MF-FRP (*Mechanically Fastened*) recorre ao uso de laminados multidirecionais apenas ancorados com parafusos metálicos à superfície do elemento de concreto a reforçar, sem uso de resinas, se demonstrando como uma possibilidade rápida e simples uma vez que não depende do preparo do substrato de concreto, possibilitando a imediata utilização da estrutura (Figura 4b). Além disso, ambas as técnicas levam a um bom aumento da capacidade portante com pouca ou nenhuma perda de dutilidade (BANK, 2004; BANK E ARORA, 2007; ELSAYED, EBEAD E NEALE, 2009; COELHO *et al.,* 2011).

Figura 4 – Técnicas (a) MF-EBR e (b) MF-FRP



Fonte: Coelho *et al.* (2011) e Bank (2004)

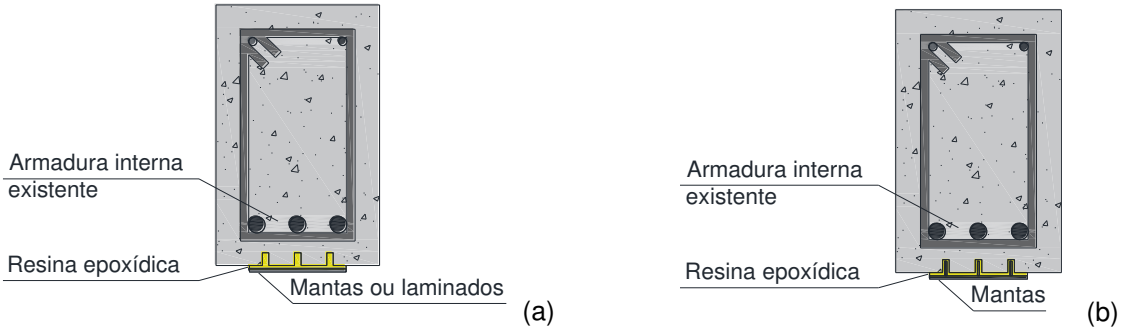
2.4 Técnicas EBROG e EBRIG

Segundo Sarti Júnior (2020), as técnicas de reforço EBROG e EBRIG são baseadas no reforço dos elementos estruturais de concreto armado aplicando-se, simultaneamente, as técnicas EBR e NSM. A técnica EBROG (*Externally Bonded Reinforcement On Grooves*) é pautada na abertura de entalhes no concreto de cobrimento dos elementos a serem reforçados, seguido pelo preenchimento destes com uso de adesivo estrutural e, posteriormente, pela colagem externa do FRP (Figura 5a). A técnica EBRIG (*Externally Bonded Reinforcement In Grooves*) é baseada na colagem de mantas de FRPs na superfície do elemento e no interior dos entalhes realizados no concreto de cobrimento, respectivamente, com o uso de adesivo estrutural (Figura 5b).

2.5 Técnica ETS

Segundo Dalfré (2013) e o *Fib Bulletin 90* (2019), quando apenas as faces superior ou inferior dos elementos de concreto são acessíveis, uma técnica de reforço baseada na instalação de barras em furos, verticais ou inclinados, abertos na espessura do elemento a reforçar com o uso de resinas epoxídicas, pode ser utilizada.

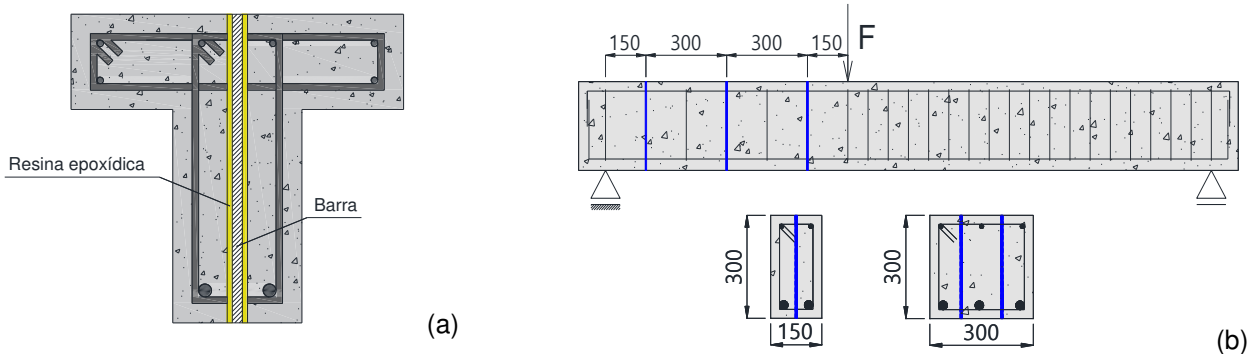
Figura 5 – Técnicas (a) EBRIG e (b) EBROG



Fonte: Mostofinejad, Shameli e Hosseini (2014)

Tal técnica também pode ser utilizada quando a eficácia das técnicas EBR ou NSM puder ser comprometida pela formação de fissuras de cisalhamento junto aos apoios centrais dos elementos reforçados ou, ainda, no caso de elementos estruturais que, posteriormente a uma operação de reforço à flexão, seu modo de ruptura passa a ser baseado em cisalhamento. Esta ocorrência deve ser evitada dado que a ruptura por cisalhamento é frágil e quase instantânea. Assim, uma técnica de reforço ao cisalhamento, designada na literatura internacional por ETS (*Embedded Through-Section*), foi desenvolvida. Esta técnica de reforço é baseada na instalação de barras (convencionais ou de FRP) em furos abertos na espessura do elemento a reforçar, sendo fixas ao concreto por meio de adesivos (Figura 6). Verifica-se que sistema de reforço está mais protegido das condições de agressividade ambiental e de atos de vandalismo uma vez que o sistema de reforço se encontra embebido no concreto.

Figura 6 – Técnica ETS



Fonte: (a) *Fib Bulletin 90* (2019) e (b) Dalfré (2013). Medidas em mm.

2.6 Técnica TRC (FRCM)

Embora as técnicas de reforço baseadas no uso de resinas epoxídicas consigam atingir grandes incrementos de capacidade de carga e boa ductilidade dos elementos reforçados, verificam-se problemas relacionados aos materiais de colagem (as resinas) tais como degradação devido ao aumento de temperatura, susceptibilidade à radiação ultravioleta e umidade, além de seu alto custo. Diante do exposto, novos sistemas de reforço sem o uso de adesivos têm sido desenvolvidos, dentre os quais destacam-se os compósitos cimentícios reforçados com têxteis (*TRC, Textile Reinforced Concrete*) ou FRCM (*Fabric-Reinforced Cementitious Matrix*). Segundo a norma ACI 549.4R (2020), os compósitos cimentícios são uma evolução da construção convencional onde os materiais metálicos são substituídos por fibras. O desenvolvimento da engenharia têxtil ampliou as opções de materiais que podem ser utilizados em sistemas de reparo ou reforço, nomeadamente no campo de tecidos bidimensionais e têxteis tridimensionais compostos por fibras de carbono, de vidro álcali resistente (AR), fibras poliméricas ou sistemas híbridos usando uma variedade de configurações. A Figura 7 apresenta alguns exemplos de uso dos TRCs na área de reparo e reforço de elementos de concreto e alvenaria.

Figura 7 – Técnica TRC: (a) reforço de base de equipamentos, (b) reforço de abóbodas, (c) encamisamento de elementos, (d) reforço de chaminé e (e) reforço de lajes


(a)

(b)

(c)

(d1)

(d2)

(d3)

(e1)

(e2)

Fonte: (a-d) ACI 549.4R (2020) e (e) *S&P Clever Reinforcement Brasil* (2020)

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta um breve resumo sobre as técnicas de reforço de elementos de concreto baseadas no uso de FRPs, as quais se justificam pela elevada resistência à tração, propriedades não magnéticas, boa resistência aos processos corrosivos e simplicidade de execução, possibilitando, assim, sua utilização em ambientes agressivos. Embora a técnica mais utilizada, tanto no Brasil quanto no exterior, seja a EBR (*Externally Bonded Reinforcement*), novas possibilidades têm sido pesquisadas, desenvolvidas e estão ganhando destaque na área da construção civil.

4 REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. 440.2R: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. Farmington Hills, 2017.

ACI Committee 549.4R. **Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) and Steel-Reinforced Grout Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures**, ACI Committee 549, 41 pp. Farmington Hills, 2020.

AZEVEDO, D. M. M. **Reforço De Estruturas De Betão Com Colagem De Sistemas Compósitos De Cfrp – Recomendações Para Dimensionamento**. PORTO, 2008. 238 P. Dissertação de Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil – Universidade Do Porto.

BAKIS, C. E.; F. ASCE L. C. B.; BROWN, M. ASCE V. L.; COSENZA E.; DAVALOS, M. ASCE J. F.; LESKO J. J.; MACHIDA A.; RIZKALLA, F. ASCE S. H.; TRIANTAFILLOU, M. ASCE T. C. **Fiber-Reinforced Polymer Composites For Construction: State Of The Art Review**. Journal Of Composites For Construction, V. 6, N. 2, P. 73–77, 2002.

BANK, L. **Mechanically-fastened FRP (MF-FRP) - a viable alternative for strengthening RC members.** Proceedings of the Second International Conference on FRP Composites in Civil Engineering-CICE 2004, 2004.

BANK, L.; ARORA, D. **Analysis of RC beams strengthened with mechanically fastened FRP (MF-FRP) strips**, Composite Structures, 79, p. 180–191, 2007.

COELHO, M.; SILVA, L.; SENA-CRUZ, J.M.; BARROS, J. Estudo comparativo de diferentes técnicas no reforço à flexão de vigas de betão armado com recurso a CFRP's sob acções monotónicas e de fadiga. **Revista Portuguesa de Engenharia de** Estruturas, 2011.

DALFRÉ, G. M. **Flexural and shear strengthening of RC elements.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2013.

DE LORENZIS, L; TENG, J. G. **Near-surface mounted FRP reinforcement: An emerging technique for strengthening structures**. Composites Part B, v. 38, p. 119–143, 2007.

ELSAYED, W. E.; EBEAD, U. A., NEALE, K. W. Studies on mechanically fastened fiber-reinforced polymer strengthening systems. **ACI Structural Journal**, 106(1), 49-59, 2009.

FÉDÉRATION INTERNACIONALE DU BETÓN. **Bulletin 90:** Externally applied FRP reinforcement for concrete structures. Lausanne, Switzerland, 242 p. 2019.

FERREIRA, D. C. **Avaliação da degradação de vigas reforçadas com FRP quando expostas ao intemperismo**. São Carlos, 2019. 137f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de São Carlos.

HASAN, M. A.; AKIYAMA, M.; KASHIWAGI K.; KOJIMA, K.; PENG, L. **Flexural behaviour of reinforced concrete beams repaired using a hybrid scheme with stainless steel rebars and CFRP sheets**. Construction and Building Materials, v. 265, p. 1-19, 2020.

ISIS. **An Introduction to FRP Composites for Construction: Educational Module no. 2:**, The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, ISIS Canada Corporation, Manitoba, Canada, 2006.

MAZZÚ, A. D. E. **Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão**. São Carlos, 2020.115p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos.

MONTEIRO, A. **Reforço de vigas em betão armado com armaduras exteriores de FRP**. Lisboa, 2014. 215p. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

MOSTOFINEJAD, D.; SHAMELI, S.; HOSSEINI, A. **EBROG and EBRIG methods for strengthening of RC beams by FRP sheets**. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2014.

OLIVEIRA, M. C. **Análise do comportamento estrutural e durabilidade de pilares de concreto armado reforçados com manta de GFRP**. São Carlos, 2019.115p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de São Carlos.

S&P CLEVER REINFORCEMENT BRASIL, 2020. http://www.sp-reinforcement.com.br/. Acesso em 01/05/2020.

SARTI JÚNIOR, L. A. **Durabilidade de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de CFRP submetidas a degradação acelerada**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2020.