

UTILIZAÇÃO DE ARMADURA EM FRP EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

GABRIELA MAZUREKI CAMPOS BAHNIUK¹, CLAUDIA MARIA DE OLIVEIRA CAMPOS²

¹Dra. em Engenharia Civil, Prof. Assistente, UEPG, Ponta Grossa-PR, gabriela.campos@uepg.br;

²Dra. em Engenharia Civil, Prof. Associada, UFF, Niterói-RJ, cmocampos@id.uff.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
07 a 10 de outubro de 2024

RESUMO: Este artigo tem como objetivo apresentar a utilização da armadura em polímero reforçado com fibras (*fiber reinforced polymer – FRP*) em estruturas de concreto, contemplando propriedades do material, normalizações e recomendações nacionais e internacionais bem como aplicações. O FRP é um material compósito não suscetível à corrosão, com alta relação resistência-peso e natureza não magnética. Internacionalmente, já existem algumas normas e publicações sobre o uso de polímeros reforçados com fibra como armadura para elementos de concreto e no Brasil está em desenvolvimento uma normativa, além de ter sido publicado, pelo Ibracon, uma prática recomendada sobre estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras.

PALAVRAS-CHAVE: barras de FRP, estruturas de concreto, normas de projeto.

APPLICATIONS OF FRP REINFORCEMENT IN CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT: This paper aims to present the use of fiber reinforced polymer (FRP) reinforcement in concrete structures, considering material properties, national and international standards and recommendations, as well as applications. FRP is a composite material that is not susceptible to corrosion, has a high strength-to-weight ratio and is non-magnetic in nature. Internationally, there are already some standards and publications on the use of fiber reinforced polymers as reinforcement for concrete elements. In Brazil, a standard is under development, in addition to the publication by Ibracon of a recommended practice on reinforced concrete structures with fiber reinforced polymer bars.

KEYWORDS: FRP bars, reinforced concrete structures, design codes.

INTRODUÇÃO

O emprego de armaduras não metálicas, como barras de polímero reforçado com fibras (*fiber reinforced polymer - FRP*), é considerado um dos grandes avanços para desenvolvimento de projetos mais sustentáveis. A substituição das barras de aço por outro material que não sofra corrosão garante uma maior durabilidade das estruturas (Wang; Belarbi, 2011). Problemas e custos atribuídos à manutenção de estruturas de concreto, afetadas pela corrosão das armaduras de aço, contribuíram para a introdução desta nova tecnologia na construção civil, uma vez que a resistência à corrosão é o principal atrativo das barras não metálicas.

As fibras comumente utilizadas para barras de FRP são: vidro (*glass fiber reinforced polymer – GFRP*), carbono (*carbon fiber reinforced Polymer – CFRP*) e aramida (*aramid fiber reinforced Polymer – AFRP*), entretanto, fibras contínuas de basalto (*basalt fiber reinforced polymer - BFRP*) tornaram-se comercialmente disponíveis como alternativa às fibras de vidro (Nanni; De Luca; Zadeh, 2014). As barras de FRP são constituídas de fibras contínuas incorporadas em uma matriz de resina polimérica. As fibras têm a função de absorver a carga e a resina tem a função de manter unida o feixe de fibras, transferindo a carga e as protegendo (Nanni; De Luca; Zadeh, 2014). A resina é o agente de interação de vários compósitos e sua escolha afeta as características mecânicas dos compósitos.

As barras de FRP além de não serem suscetíveis à corrosão, são leves (GFRP tem densidade entre 2,11-2,70 g/cm³), têm alta relação resistência-peso (GFRP tem resistência à tração aproximada de 1000 MPa), natureza não magnética e característica não condutora quando comparadas com barras de aço (Abdalla, 2002; Jafarzadeh; Nematzadeh, 2020). A alta resistência à tração das barras de FRP faz com que seja possível utilizá-la como armadura estrutural (ACI Committee 440.1R-15, 2015).

Entretanto, as barras apresentam comportamento anisotrópico com a resistência na direção transversal muito pequena comparada à alta resistência na direção longitudinal (aproximadamente 5 vezes menor). Outro aspecto muito importante é que a relação entre tensão e deformação é linear até a ruptura. Assim, considerando o projeto estrutural, as particularidades das propriedades mecânicas das barras de FRP, quando comparadas com o aço, devem ser consideradas (Confrere et.al., 2016; Monteiro, 2019; El-Nemr et.al., 2018).

Assim, o objetivo desse artigo é apresentar recomendações e normas existentes de elementos de concreto armado com FRP, bem como aplicações desse material.

NORMALIZAÇÃO E RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

Segundo Hollaway (2010) o uso inicial do polímero reforçado com fibra como barras de armadura ocorreu em 1975 na Rússia. Para Nanni, De Luca e Zadeh (2014) a barra de armadura de FRP tornou-se uma solução viável comercialmente como reforço interno para estruturas de concreto no final dos anos 1980. Em 1996, os japoneses foram os primeiros que publicaram diretrizes de projeto para FRP. Depois, o uso de FRP como reforço estrutural aumentou exponencialmente, e as orientações de projeto foram desenvolvidas em todo o mundo (Bakis et al., 2002).

Internacionalmente, já existem normas e publicações sobre uso de polímeros reforçados com fibra, como armadura para elementos de concreto, apresentadas a seguir em ordem cronológica de publicação:

- a) ACI SP-138 “*Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures - International Symposium*” (Noruega): Publicado em 1992 pelo Conselho Norueguês para Padronização de Edifícios. Os artigos desta publicação são organizados nas áreas temáticas: propriedades do material de FRP e métodos de teste; reforço de FRP para concreto armado; reforço de FRP para concreto protendido; análise e projeto; o projeto nacional japonês para Desenvolvimento de FRP; Aplicações de reforço de FRP (ACI, 30 jul. 2024).
- b) “*Interim Guidance on the Design of Reinforced Concrete Structures using Fiber Composite Reinforcement*” (Reino Unido): Publicado em 1999 pela Instituição de Engenheiros Estruturais como orientação provisória para projeto de estruturas de concreto reforçadas com FRP. As orientações apresentam uma introdução sobre o FRP bem como sugestões de modificação das normas BS 8110 (*Structural use of concrete*) e BS 5400 Parte 4 (*Steel, concrete and composite bridges*) (Nanni, De Luca e Zadeh, 2014).
- c) ACI 440.1 “*Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced bars*” (Estados Unidos): Este manual fornece informações gerais sobre o histórico e o uso de armadura em FRP, descrição das propriedades do material e diretrizes para o projeto e construção de elementos de concreto estrutural armados com barras de FRP. O documento é baseado no conhecimento adquirido em pesquisas experimentais em todo o mundo e em trabalhos e aplicações de campo sobre armadura de FRP. No documento estão incluídas fibras de carbono, fibras de aramida e fibras de vidro (ACI Committee 440.1R-15, 2015). A primeira publicação é de 2001 e a atual é de 2015.
- d) CAN/CSA-S806 “*Design and construction of building structures with fiber-reinforced polymers*” (Canadá): A norma canadense apresenta requisitos para o projeto e avaliação de componentes de construção de polímeros reforçados com fibra em edifícios e de elementos de construção que utilizam materiais de FRP. Baseia-se no método dos estados limites e está alinhado ao Código Nacional de Construção do Canadá (CSA, 2017). A norma não se aplica ao projeto de concreto reforçado com fibra. A primeira publicação foi em 2002 e a atual é de 2017.
- e) CNR-DT 203 “*Guide for the design and construction of concrete structures reinforced with fiber-reinforced polymer bars*” (Itália): Em 2006, o Conselho Nacional de Pesquisa publicou o Manual Italiano sobre recomendações de projeto para armaduras internas (barras) de polímero reforçado com fibra dentre uma série de documentos publicados sobre o uso estrutural de compósitos de FRP (CNR-DT, 2006).

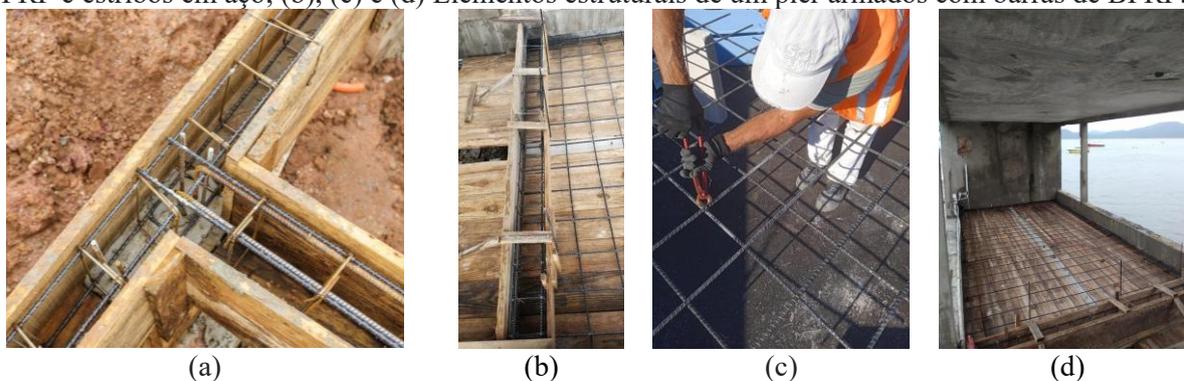
- f) GOST 31938 “Fiber-reinforced polymer bar for concrete reinforcement - general specifications” e SP 295.13258008 “Concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars. Design rules” (Rússia): Publicações russas de 2012 e 2017, respectivamente, que estabelece especificações gerais aplicada a barra de polímero reforçado com fibra de carbono, aramida ou vidro (RUSSIAN, 30 jul. 2024)
- g) ACI 440.11 “Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars-Code and Commentary” (Estados Unidos): esta norma depende dos requisitos do código ACI 318-19 e exige requisitos mínimos para materiais, projeto e detalhamento de edifícios de concreto estrutural reforçado com barras de GFRP em conformidade com a ASTM D7957 (ACI Committee 440.11, 2022).

No Brasil, foi publicado, em novembro de 2021, uma Prática Recomendada sobre Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP) resultante do trabalho do Comitê CT-303 “Comitê IBRACON/ABECE de Materiais não convencionais para Reforço de Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras”. A publicação envolve tanto o projeto quanto especificação, classificação e ensaios das barras de FRP (Cardoso et al., 2021). Atualmente está em desenvolvimento no Brasil, pela Comissão de Estudo ABNT/CE-002, uma normativa para Projeto de Estruturas de Concreto Armado com Barras de FRP – Procedimento (ABNT, 30 jul. 2024).

APLICAÇÕES DO FRP EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Segundo Mugahed Amran et al. (2018), do total de aplicação de materiais de FRP nos Estados Unidos, 21% se referem ao uso desse material na construção (Figura 1). Ainda, destaca que o caráter de aplicação do FRP na engenharia civil é separado em duas situações, sendo uma em reabilitação de estruturas e outra em aplicações em novas construções. Alguns exemplos de aplicação do FRP, no Brasil e no mundo, são apresentados na Figura 2

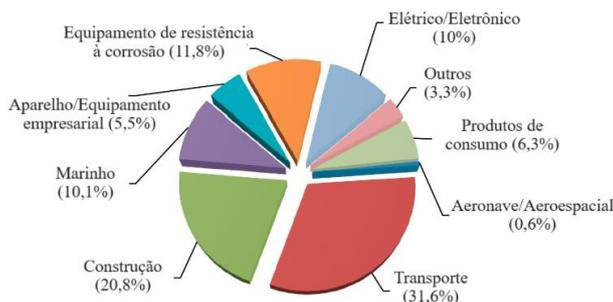
Figura 2. Exemplo de aplicação de FRP no Brasil: (a) Viga baldrame com armadura longitudinal em GFRP e estribos em aço; (b), (c) e (d) Elementos estruturais de um píer armados com barras de BFRP.



Fonte: Haizer Building Solution

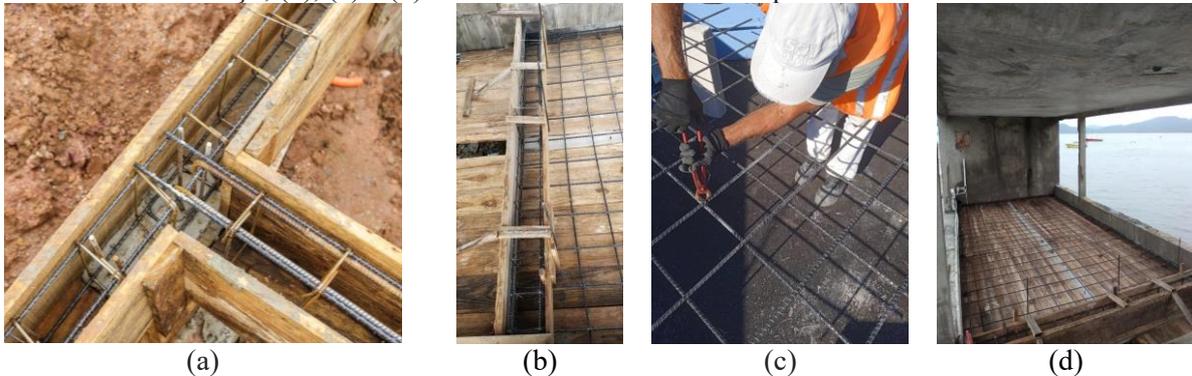
Figura 3 e Figura 3.

Figura 1. Aplicações de materiais em FRP nos Estados Unidos



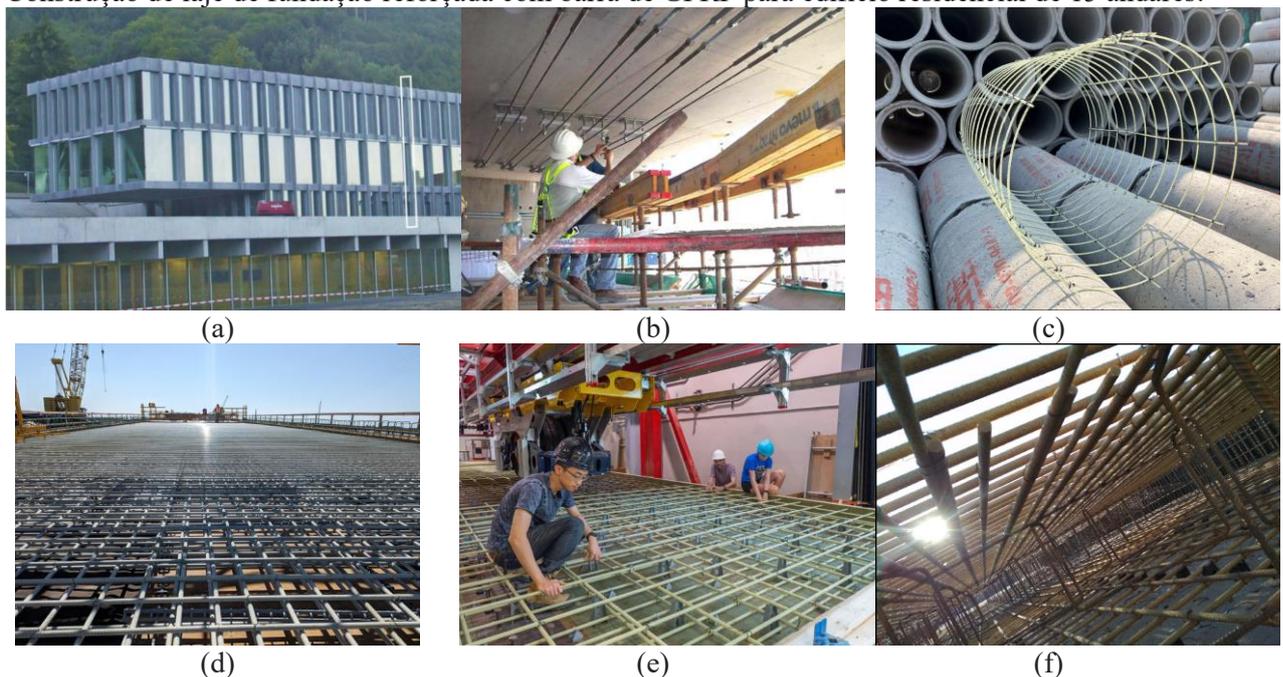
Fonte: Mugahed Amran et al. (2018).

Figura 2. Exemplo de aplicação de FRP no Brasil: (a) Viga baldrame com armadura longitudinal em GFRP e estribos em aço; (b), (c) e (d) Elementos estruturais de um píer armados com barras de BFRP.



Fonte: Haizer Building Solution

Figura 3. Exemplo de aplicação de FRP em estruturas de concreto no mundo: (a) College Zurich Falletsche: viga na fachada da edificação em concreto protendido com barras de CFRP; (b) Emprego de barras externas protendidas de CFRP; (c) Uso de gaiola de GFRP para reforço em tubo de concreto; (d) Reforço de GFRP no tabuleiro da primeira ponte totalmente armada com FRP na Carolina do Norte: Harkers Island Bridge; (e) Plataforma de ponte reforçada com barra de GFRP testada em simulador de carga para verificar degradação de rigidez e outros parâmetros relacionados à fadiga; (f) Construção de laje de fundação reforçada com barra de GFRP para edifício residencial de 15 andares.



Fonte: (a) Terrasi et.al. (2011); (b) Matta et.al. (2009); (c) a (f) IIFC (2024)

CONCLUSÕES

A utilização de armaduras de FRP é viável para aplicação em estruturas de concreto e é possível observar que o emprego do material no cenário nacional está em crescimento, justificado pela publicação de uma prática recomendada bem como da elaboração de normativa. Internacionalmente já existem publicações desde o início da década de 2000, mas que vem sendo constantemente atualizadas. Assim, conclui-se que este material se apresenta como uma alternativa ao uso de armaduras convencionais de aço em estruturas de concreto armado, principalmente em locais de maior agressividade ambiental.

AGRADECIMENTOS

A Haizer Building Solution pelo material fotográfico.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, H. A. Evaluation of deflection in concrete members reinforced with fibre reinforced polymer (FRP) bars. *Composite Structures*, v. 56, n. 1, p. 63–71, 2002.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Publications. Farmington Hills, 2022. Disponível em: <https://www.concrete.org/publications/technicaldocuments.aspx.aspx>. Acesso em 30 de julho 2024.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.1R-15: guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars. Farmington Hills: ACI, 2015.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.11: building code requirements for structural concrete reinforced with glass fiber-reinforced polymer (GFRP) bars—Code and Commentary. Farmington Hills: ACI, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <https://abnt.org.br/normalizacao/comites-tecnicos/>. Acesso em 30 de julho de 2024.
- BAKIS, C.E., BANK, L.C, BROWN V., COSENZA E., DAVALOS, J.F., LESKO, J.J. Fiber-reinforced polymer composites for construction—state-of-the-art review. *Journal of Composites for Construction*, 6(2):73–87, 2002.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. CSA S806-12: Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers. 2 Ed.: Canadian Standards Association, 2017.
- CARDOSO, D. C. T.; CARNIO, M. A.; FORTI, N. C. da S.; CHRISTI, R. Prática Recomendada IBRACON/ABECE: Estruturas de Concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras (FRP). 1ª ed. São Paulo, Ed. IBRACON, 2021.
- CNR ADVISORY COMMITTEE ON TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR DESIGN AND CONSTRUCTION. CNR-DT 203: Guide for the design and construction of concrete structures reinforced with fiber-reinforced polymer bars. Rome, 2006.
- CONFRERE, A., MICHEL, L., FERRIER, E., CHANVILLARD, G., Experimental Behaviour and Deflection of Low-Strength Concrete Beams Reinforced with FRP Bars, *Structural Concrete*, v.17, no.5, p 858-874, 2016.
- EL-NEMR, A., AHMED, E.A., EL-SAFETY, A., BENMOKRANE, B., Evaluation of Flexural Strength and Serviceability of Concrete Beams Reinforced with Different types of GRFP Bars, *Engineering Structures*, v.173, p 606-619, 2018.
- JAFARZADEH, H.; NEMATZADEH, M. Evaluation of post-heating flexural behavior of steel fiber-reinforced high-strength concrete beams reinforced with FRP bars: Experimental and analytical results. *Engineering Structures*, v. 225, p. 111292, 2020.
- MONTEIRO, L. Z. Estudo experimental de vigas de concreto armadas com barras de polímero reforçado com fibra de vidro. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2019.
- HOLLAWAY, L. C. A review of the present and future utilization of FRP composites in the civil infrastructure with reference to their important in-service properties. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 12, p. 2419–2445, 2010.
- INSTITUTE FOR FRP IN CONSTRUCTION. IIFC. Disponível em: <https://www.iifc.org/awards/>. Acesso em 30 de julho de 2024.
- MATTA, F., NANNI, A., ABDELRAZAQ, A., GREMEL, D., KOCH, R., Externally post-tensioned carbon FRP bar system for deflection control, *Construction and Building Materials* vol. 23, pp.1628–1639, 2009.
- MUGAHED AMRAN, Y.H.; ALYOUSEFA, R.; RASHID, R. S.M.; ALABDULJABBAR H.; HUNG, C. Properties and applications of FRP in strengthening RC structures: A review. *Structures*, v. 16, n. July, p. 208–238, 2018.

- NANNI, A.; DE LUCA, A.; ZADEH, H. Reinforced Concrete with FRP Bars: Mechanics and Design. London: CRC Press, 2014.
- TERRASI, G.P., AFFOLTER, C., BARBEZAT, M., Numerical Optimization of a Compact and Reusable Pretensioning Anchorage System for CFRP Tendons, Journal of Composites for Construction, ASCE, v.15, no. 2, march/april, 2011.
- RUSSIAN GOST 31938. Moscou, 2012. Disponível em: <https://www.russiangost.com/p-71665-gost-31938-2012.aspx>. Acesso em 30 de julho de 2024.
- RUSSIAN SP 295.1325800. Moscou, 2017. Disponível em: <https://www.russiangost.com/p-220759-sp-29513258002017.aspx>. Acesso em 30 de julho de 2024.
- WANG, H.; BELARBI, A. Ductility characteristics of fiber-reinforced-concrete beams reinforced with FRP rebars. Construction and Building Materials, v. 25, n. 5, p. 2391–2401, 2011.