

# ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VIGAS DE CONCRETO ARMADAS COM BARRAS DE AÇO E COM BARRAS DE PRF

Eduardo dos Santos Abreu Filho<sup>1</sup>; Mauro de Vasconcelos Real<sup>2</sup>

## Resumo

Os plásticos reforçados por fibras (PRF) proporcionam uma promissora perspectiva de uso como armadura para concreto, que podem oferecer ganhos consideráveis em todo o ciclo de sua vida útil, como maior durabilidade e resistência, visto que as tradicionais armaduras de aço apresentam grandes problemas associados à corrosão. No projeto de vigas de concreto armadas com aço, a falha é dimensionada pelo escoamento do aço, caracterizado por uma falha dúctil. Já no dimensionamento com barras de PRF, ocorre a soma de dois materiais de comportamento frágil, tendo possibilidade de uma falha frágil. Desta forma, devido ao crescente interesse e utilização deste material e também às diferenças apresentadas entre o aço e o PRF, realizou-se um estudo comparativo do dimensionamento de vigas biapoiadas de concreto armadas com aço e com os três tipos de PRF. O dimensionamento à flexão e a verificação das flechas foram realizados com as recomendações da norma brasileira NBR 6118:2014 para as vigas armadas com aço e com as recomendações da norma norte-americana ACI 440:2015 para as vigas armadas com PRF. Concluiu-se que a área de armadura do aço pode ser maior ou menor comparada as vigas armadas em PRF, de acordo com o tipo de fibra utilizada. Já as flechas das vigas armadas em PRF são superiores as armadas com aço devido à baixa rigidez causada pelo baixo módulo de elasticidade do material.

**Palavras-chave:** PRF; concreto armado com PRF; flexão em vigas.

## Abstract

Fiber-reinforced plastic (FRP) provides a promising perspective of use as reinforcement for concrete, which can deliver considerable gains over the entire life cycle, as a higher durability and strength. Since traditional steel reinforcement present major problems associated with corrosion. In the project of reinforced concrete beams with steel. The failure is dimensioned by the flow of steel, being a ductile failure. Yet in the sizing with FRP bars, occurs the sum of two materials of fragile behavior. In this way, due to the growing interest and use of this material and also the differences presented between the steel and the FRP, a comparative study was carried out on the design of bi-supported concrete beams reinforced with steel and with the three types of FRP. The flexural dimensioning and the verification of the deformations were based under the recommendations of the Brazilian standard NBR 6118:2014 for steel-reinforced beams and with the recommendations of the North-American standard ACI 440:2015 for the fiber-reinforced beams with FRP. Was concluded that the area of the steel reinforcement can be bigger or smaller compared to the beams reinforced with FRP, according to the type of fiber used and the deformations of the FRP-reinforced beams are superior to the steel-reinforced due to the low stiffness caused by the low elasticity module of material.

**Keywords:** FRP; reinforced-concrete with FRP; bending in beams.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio Grande-FURG. E-mail: eduardosabreu@outlook.com.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, professor titular da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande-FURG. E-mail: mauroreal@furg.br.

## **Introdução**

O concreto armado convencional, composto por concreto simples e armadura de aço, é a técnica mais utilizada na construção civil devido às características de alta resistência mecânica, trabalhabilidade e praticidade. Ainda nesse cenário consolidado e de grande utilização do concreto armado convencional, novas alternativas estão sendo estudadas de forma que atendam às diversas exigências da construção civil. Dentre elas, há o concreto armado que utiliza materiais compósitos a base de fibras e resinas, principalmente os polímeros reforçados com fibras – PRF (RIBEIRO, 2009).

Os compósitos são materiais de alto desempenho, que nos últimos anos tiveram um crescente interesse de ampliação da sua utilização, devido à alta resistência mecânica e a grande durabilidade que podem oferecer, gerando um grande potencial de ganho no ciclo de vida útil da estrutura. Esses materiais vêm sendo empregados como reforço de estruturas existentes e também como armadura de concreto, no lugar da tradicional armadura de aço. São compostos por fibras de aramida – PRFA, vidro - PRFV ou carbono – PRFC, e por uma base de polímeros (MICALI, 2010).

A durabilidade das estruturas de concreto armado está diretamente ligada a fatores climáticos como umidade excessiva do ar e variações bruscas de temperatura. Devido ao extenso litoral brasileiro, o contato com a água salgada, a maresia e outros agentes químicos são fatores que afetam as estruturas de concreto. Isso contribui para a corrosão das armaduras de aço do concreto armado convencional, que fica em desvantagem quando comparado com o uso de barras de polímeros, pois estas são imunes à corrosão. Mesmo que a utilização do PRF como armadura estrutural apresente grandes expectativas quanto à durabilidade, as características particulares deste material têm conduzido a novas investigações em relação ao projeto estrutural em concreto armado com PRF. Nos últimos anos, a construção civil é o setor que mais tem utilizado compósitos, mas no Brasil os estudos ainda são recentes nesta área, assim, é necessário avaliar o desempenho desse material ao comparar com o aço, que é um material amplamente utilizado e com suas características físicas e mecânicas conhecidas (RIBEIRO; DINIZ, 2013).

As normas técnicas que orientam os projetos de estruturas armadas com barras de PRF são uma realidade em diversos países do mundo, fornecendo recomendações para este tipo de projeto. No Brasil, não há um texto normativo emitido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que forneça parâmetros para esse tipo de projeto, uma vez que são

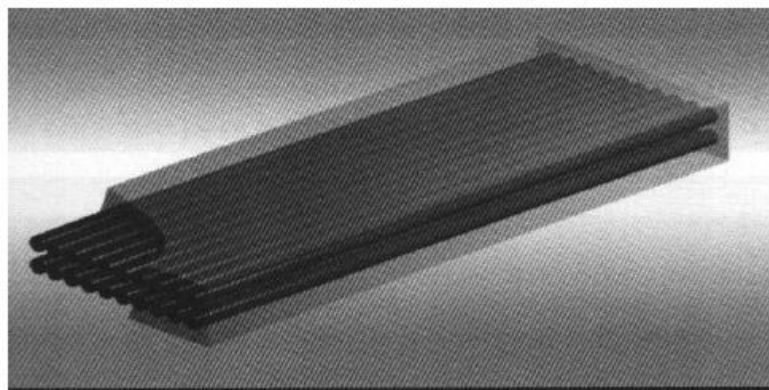
necessários avançados estudos sobre o comportamento desse material quanto às agressividades ambientais do nosso país.

Neste trabalho, comparou-se o desempenho de vigas de concreto armado com o aço convencional e com PRF, utilizando os critérios de dimensionamento à flexão da norma ABNT NBR 6118:2014 para vigas de concreto armadas com barras de aço e das recomendações do Instituto Americano do Concreto ACI 440 1R:2015 para vigas de concreto armado com barras de PRF. Para evitar que ocorra influência da geometria das vigas nos resultados, foram utilizadas vigas simples e biapoiadas, possibilitando uma comparação apenas dos materiais. Assim, poderão ser analisadas as propriedades das barras de aço e de PRF, percebendo suas vantagens e desvantagens.

## **1 Polímero Reforçados com Fibras - PRF**

O PRF é um material compósito formado por polímeros termofixos, ou seja, maleáveis apenas na sua fabricação, e são reforçados com fibras de espessuras microscópicas gerando um ganho elevado na resistência à tração e módulo de elasticidade (MICALI, 2010). Na figura 1 é representado um exemplo deste compósito.

**Figura 1** - Representação esquemática de compósito



Fonte: Machado (2002)

Segundo Ribeiro (2009), as fibras são armadas unidirecionalmente dentro das matrizes poliméricas e absorvem os esforços de tração. A matriz polimérica tem função de manter a coesão das fibras e transferir as tensões de cisalhamento entre os dois elementos, o concreto e a fibra. Machado (2002) afirma que a grande variedade de resinas e fibras, permite a utilização adequada para cada aplicação. Sendo possível, ainda, selecionar a resina com propriedades adequadas ao meio ambiente, à resistência, à corrosão, ao fogo e à variação de temperatura.

## **2 Dimensionamento de Concreto Armado com Aço**

Segundo Araújo (2014), durante toda construção e tempo de utilização, a estrutura deve satisfazer premissas de qualidade, segurança, bom desempenho em serviço e durabilidade. As normas de dimensionamento de concreto armado trabalham de forma que as estruturas de concreto sejam projetadas para atender requisitos dentro de um nível de segurança. As estruturas devem suportar ações impostas durante a sua construção e ao longo de toda vida útil, com nível apropriado de qualidade quanto a todas influências ambientais e ações que produzam efeitos significativos na construção e em circunstâncias excepcionais sem ocorrência de ruptura ou ruína. Portanto, devem apresentar segurança, conforto, estabilidade, manter-se em plenas condições de uso, sem apresentar deformações excessivas que podem causar danos e desconforto, e bom estado de conservação, evitando necessidade de reparos.

Essas exigências de qualidade são classificadas por Ribeiro (2009) em três grupos: exigências relativas à capacidade resistente da estrutura ou de seus componentes, segurança à ruptura; exigências relativas a um bom desempenho na sua utilização, limitação de fissuração, deformações e vibrações; e as exigências relativas à sua durabilidade, sob as influências ambientais previstas, segurança à deterioração precoce.

As normas NBR 6118:2014, ACI 318:2014, EUROCODE (1992 e 1994), são as mais empregadas para o dimensionamento de estruturas de concreto armado e utilizam o método dos estados limites. Neste estudo foi utilizada a norma NBR 6118:2014 para o dimensionamento das vigas de concreto armado com aço.

## **2 Dimensionamento de Concreto Armado com PRF**

Segundo Ribeiro (2009), o PRF, polímero reforçado por fibras, vem ganhando espaço como armadura estrutural para o concreto, gerando expectativas em termos de durabilidade e resistência. Mas ainda é necessária a criação de uma metodologia que considere as características particulares deste tipo de armadura.

Para Bischoff e Gross (2011), as duas principais características particulares das armaduras de PRF são o baixo módulo de elasticidade e a baixa ductilidade. O módulo de elasticidade faz com que a flecha de uma viga armada com PRF seja superior quando observada em uma viga equivalente armada com aço. A baixa ductilidade está relacionada com o modo de ruptura do PRF, que é imediato. Assim, faz-se necessário um maior coeficiente de segurança quando comparadas às armaduras com aço, pois qualquer carga acima da dimensionada pode gerar o colapso da estrutura.

Países como o Japão (JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – JSCE, 1997) e os Estados Unidos (ACI 440 1R:2015) criaram recomendações para projetos de estruturas em concreto armado com PRF (CA-PRF). O Canadá foi o primeiro país a formalizar uma norma de projeto, no lugar de recomendações, publicaram o CSA S806:2012, uma norma consistente com a norma de projeto de concreto armado com aço, a CSA A23.3:2014.

As recomendações existentes são baseadas em normas de projeto para estruturas de concreto armado com aço, com algumas modificações devido as propriedades mecânicas não convencionais da armadura de PRF e por equações baseadas em alguns trabalhos experimentais.

As recomendações do ACI 440:2015 seguem o método dos estados limites e são semelhantes ao projeto de barras de concreto armado com aço. Desta forma, no caso do concreto armado tradicional, geralmente o aço escoava antes do esmagamento do concreto, resultando em uma falha dúctil. Diferente no caso do concreto armado com PRF, onde os modos de falha são frágeis, devido a reduzida ductilidade, mas aceitáveis, desde que a resistência e critérios de serviços estejam adequados.

O ACI 440:2015 recomenda um coeficiente de segurança maior do que o utilizado para concreto armado tradicional para compensar a falta de ductilidade, de forma que a barra tenha uma reserva mais alta de resistência. Também, sabe-se que o uso de concreto de alta resistência melhora o uso das propriedades de alta resistência das barras de PRF, podendo aumentar a rigidez da seção fissurada. O ACI 440:2015 determina que a resistência à flexão de uma viga, que é a resistência minorada, deve exceder ao momento fletor proveniente das cargas atuantes, que são as cargas majoradas. Os coeficientes de majoração das cargas utilizados são aqueles definidos na norma ACI 318:2014.

A resistência nominal de uma viga em CA-PRF pode ser determinada a partir da compatibilidade de deformação, do equilíbrio das forças internas e do modo de falha. O modo de falha pode ser determinado pelo esmagamento do concreto (seção superarmada) ou pela ruptura do PRF (seção subarmada), ou ainda pelo esmagamento do concreto ocorrendo simultaneamente à ruptura do PRF (ruína equilibrada). Este modo de falha pode ser determinado comparando a taxa de armadura em PRF com a taxa de armadura balanceada, isto é, uma relação onde o esmagamento do concreto ocorre simultaneamente à ruptura do PRF. Já que o PRF não escoava, a taxa de armadura balanceada é calculada usando a resistência à tração de projeto.

Devido à falta de normas e recomendações brasileiras sobre o uso de CA-PRF, foram utilizadas neste estudo as recomendações de projeto ACI 440:2015 que recomenda o cálculo da resistência das seções transversais da seguinte forma:

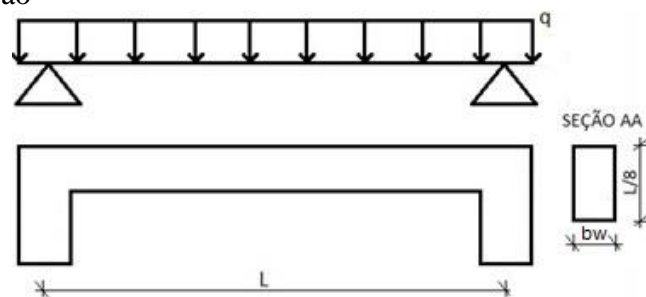
- a) A deformação no concreto e no PRF deve ser proporcional à distância do eixo neutro (ou seja, uma seção plana antes do carregamento, permanece plana após o carregamento);
- b) É assumido que a deformação máxima de compressão no concreto é de 0,003;
- c) A resistência à tração do concreto é ignorada;
- d) O comportamento à tração do PRF é linearmente elástico até a falha da barra;
- e) Existe aderência perfeita entre o concreto e o PRF.

### 3 Métodos e Procedimentos

Tendo em vista a comparação do desempenho à flexão simples e a flecha de vigas de concreto armadas com aço e armadas com PRF, foi dimensionado e analisado o comportamento de 40 vigas biapoiadas, conforme a Fig 2. As vigas armadas com aço foram dimensionadas pela norma brasileira NBR 6118:2014 e as vigas armadas com PRF foram dimensionadas pelas recomendações do ACI 440 1R:2015.

Considerou-se dez vigas para cada material, aço e os três tipos de PRF: PRFV, PRFA e PRFC, biapoiadas, retangulares de base ( $b_w$ ) igual a 25 cm e altura ( $h$ ) variando de acordo com a distância entre os apoios ( $L$ ) igual a 1/8 dessa distância, conforme a viga representada na figura 2.

**Figura 2** - Viga padrão



Fonte: Autor

As dez vigas denominadas de A à J, possuem distâncias entre os apoios variando de 2,5 a 7,0 m. Todas as vigas foram submetidas ao mesmo carregamento característico por metro linear, sendo os carregamentos permanentes de 15 kN/m e os carregamentos acidentais de 20 kN/m. A resistência característica à compressão,  $f_{ck}$ , do concreto foi de 25 MPa, com os parâmetros de dimensionamento conforme a tabela. 1.

**Tabela 1** - Parâmetros de Dimensionamento

VIGA	L (m)	Carga Permanente (kN/m)	Carga Acidental (kN/m)	$f_{ck}$ (MPa)	bw (cm)
A	2,5	15	20	25	25
B	3	15	20	25	25
C	3,5	15	20	25	25
D	4	15	20	25	25
E	4,5	15	20	25	25
F	5	15	20	25	25
G	5,5	15	20	25	25
H	6	15	20	25	25
I	6,5	15	20	25	25
J	7	15	20	25	25

Fonte: Elaborada pelos autores.

As vigas foram armadas com os quatro tipos de materiais: aço, PRFV, PRFA e PRFC. As propriedades mecânicas dos materiais utilizados como armadura apresentam-se na Tab. 2, com os dados adaptados do ACI 440:2015.

**Tabela 2** - Propriedades Mecânicas

MATERIAIS	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
AÇO	434,78	210,0
PRFV	552,0	41,4
PRFA	1172,0	82,7
PRFC	2070,0	152,0

Fonte: ACI 440 1R:2015

Com o auxílio de planilhas elaboradas no software Microsoft Excel, foram determinadas as áreas de armaduras necessárias para resistir aos esforços gerados em cada viga. Também foram verificadas as flechas, causadas pelas ações consideradas nas vigas, de modo a ter uma comparação quanto à rigidez.

Os esforços atuantes das vigas armadas com PRF são majorados de acordo com a norma ACI 318:2014, sendo os fatores de 1,2 para cargas permanentes e de 1,6 para cargas acidentais. Para as vigas armadas com aço o fator de majoração é de 1,4 tanto para cargas permanentes como para cargas acidentais, de acordo com a NBR 8681:2003.

Com relação aos Estados Limites Últimos – ELU, a norma brasileira NBR 6118:2014 considera o equilíbrio interno das forças na estrutura, estabelecendo a área de armadura de aço necessária ao dimensionamento seguro da viga. Para a ACI 440 1R:2015, é recomendado que seja estimada uma área de armadura de PRF considerando os tipos e diâmetros de barras disponíveis no mercado, e que a área estimada seja verificada, e se necessário, seja reconsiderada até que os critérios de segurança sejam atingidos.

Segundo a NBR 6118:2014, para o cálculo e verificação das flechas nos elementos armados com aço, leva-se em consideração que o mesmo possui uma ruptura dúctil. Deve-se

verificar a ocorrência de fissuração nas vigas para determinação das flechas, pois seu tamanho dependerá da ocorrência ou não de fissuras. Para as vigas com PRF, considera-se que esse material possui ruptura frágil, ou seja, é caracterizado por um comportamento elástico linear até a ruptura, sem nenhuma mudança sensível no modo de deformação. A flecha limite permitida pela norma brasileira é de  $L/250$  e pela norma norte-americana é de  $L/240$ , sendo “L” o comprimento efetivo do vão.

#### 4 Resultados e Análises

Os momentos fletores com as cargas majoradas para o cálculo da área de armadura de aço e de PRF, e também os momentos de serviço utilizados para a determinação das flechas nas vigas, seguiram as recomendações das normas e estão na Tab. 3. Observa-se nos resultados que as recomendações norte-americanas são mais rigorosas nos coeficientes de majoração de cargas, pois os momentos de cálculo e serviço possuem valores superiores aos calculados pela norma brasileira, como já mencionado.

**Tabela 3** - Momentos Fletores das Vigas

VIGA		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
VÃOS (m)		2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
MOMENTO CÁLCULO (kNm)	PRF	39,1	56,3	76,6	100,0	126,6	156,3	189,1	225,0	264,1	306,3
	AÇO	38,3	55,1	75,0	98,0	124,0	153,1	185,3	220,5	258,8	300,1
MOMENTO SERVIÇO (kNm)	PRF	25,0	36,0	49,0	64,0	81,0	100,0	121,0	144,0	169,0	196,0
	AÇO	15,6	22,5	30,6	40,0	50,6	62,5	75,63	90,0	105,6	122,5

Fonte: Elaborado pelos autores

Com os resultados de dimensionamento das áreas de armaduras de aço e PRF, foram realizadas comparações, de acordo com o vão de cada viga. Na figura 3, apresenta-se a comparação entre a área necessária de armadura de aço e dos três tipos de PRF (PRFV – vidro, PRFA - fibras de aramida e PRFC – carbono).

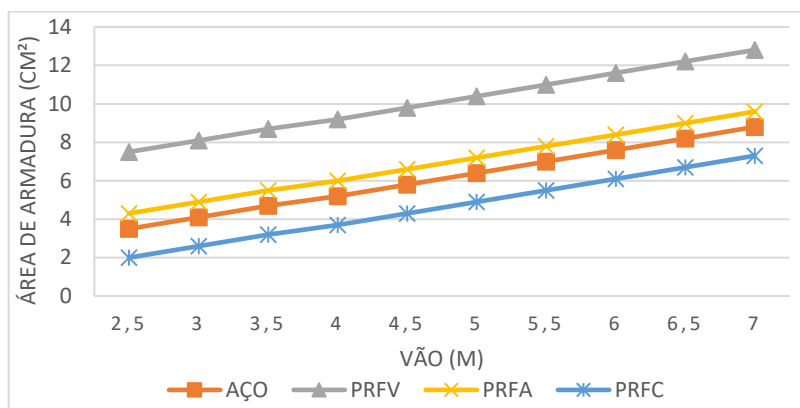
Em uma primeira análise, evidencia-se a maior necessidade de armadura de PRFV comparada ao aço. Essa necessidade ocorre devido à baixa resistência à tração considerada para esse polímero, e ainda o conservadorismo do método das normas e recomendações norte-americanas. Apesar de apresentar menor magnitude comparada a outros polímeros, a resistência à tração da fibra de vidro é maior que a tensão de escoamento do aço.

Na análise entre a necessidade de armadura de PRFA e de aço, pode-se constatar que possuem valores de áreas de armaduras muito próximos, mas os polímeros ainda apresentam valores superiores ao aço. O que não ocorre quando comparado com área de armadura de PRFC,



em que a área necessária para resistir ao momento é menor do que a área necessária de aço, devido a elevada resistência à tração do PRFC.

**Figura 3** - Comparativo entre áreas de armaduras de aço e PRF



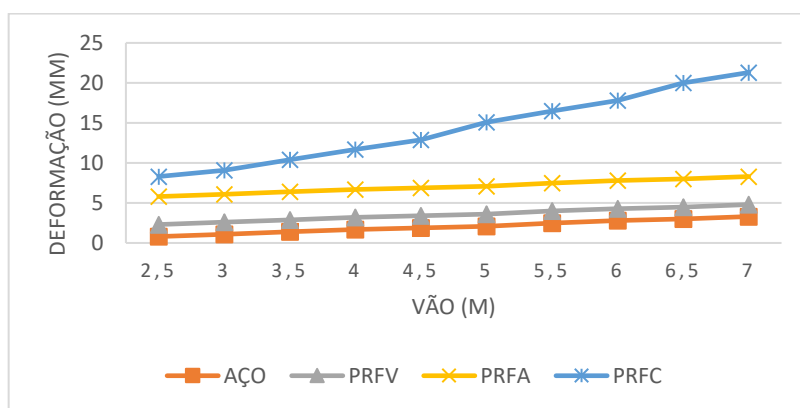
Fonte: Elaborada pelos autores.

No dimensionamento de acordo com a NBR 6118:2014, foram verificadas que a fissuração estaria dentro dos limites admissíveis devido as cargas e dimensões estabelecidas, por isso as flechas encontradas no aço foram consideravelmente inferiores em relação às calculadas com PRF, como apresentado no gráfico da Figura 4.

Observa-se que as flechas das vigas armadas com PRFV são pequenas e com valores muito próximos as armadas em aço nas mesmas condições, mas ainda assim, maiores.

As flechas das vigas com PRFA foram consideravelmente superiores ao comparar com as vigas armadas com aço. As vigas armadas com PRFC apresentaram deformações mais elevadas, e alguns até ultrapassaram os valores limites das recomendações norte-americanas.

**Figura 4** - Comparativo entre deformações em vigas com aço e PRF



Fonte: Elaborada pelos autores

Constata-se que todas as flechas de vigas armadas com PRF foram superiores às armadas com aço, devido à baixa rigidez causada pelo baixo módulo de elasticidade do material.

## 5 Conclusão

Esta pesquisa teve como objetivo geral a verificação do desempenho de vigas de concreto armadas com barras de PRF comparadas às armadas com o aço tradicional.

É conclusivo que as barras PRF são viáveis para a substituição das barras de aço em estruturas de concreto armado, pois atendem aos critérios e padrões estabelecidos por norma. Porém, faz-se necessário levar em consideração as peculiaridades desse material, como feito nas recomendações da ACI 440. 1R:2015. As recomendações da norma norte-americana foram elaboradas com ênfase nas barras de PRF, existindo uma grande preocupação com o comportamento frágil e com o baixo módulo de elasticidade que faz com que as deformações das vigas armadas com PRF sejam superiores comparadas às armadas com aço, porém, são resultados aceitáveis, desde que a resistência e critérios de serviços estejam satisfeitos. De forma a compensar a baixa ductilidade, as recomendações prescrevem uma margem de segurança maior do que a utilizada no tradicional dimensionamento com aço, deixando as barras de PRF com uma maior reserva de resistência.

Sendo assim, as recomendações norte-americanas mostram-se mais rigorosas do que a norma brasileira no sentido da majoração dos esforços solicitantes. Além disso, as áreas de armaduras de PRF necessárias para resistir a esforços de flexão em vigas de concreto armado dependem do tipo de fibra e do diâmetro das barras consideradas, pois as propriedades mecânicas dos PRF variam de acordo com essas características.

Evidencia-se, assim, a necessidade da elaboração de uma norma brasileira exclusiva para o projeto e execução de estruturas com armadura em PRF, considerando-se, além das características singulares desse material, a realidade climática e construtiva do país, permitindo a ampliação da sua utilização e, conseqüentemente, reduzindo o seu custo.

## Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Building code requirements for structural concrete. ACI 318R:2014.** 519 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with PRF Bars. ACI 440.1R-15.** 2015.

ARAÚJO, José Milton. **Curso de Concreto Armado.** Vol. 1,2,3,4. Editora Dunas, Rio Grande, RS, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas. Procedimento. NBR 8681:2003.** Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. NBR 6118:2014.** Rio de Janeiro, RJ, 2014.

- BISCHOFF, P. H.; GROSS, S. P. **Design approach for calculating deflection of FRP – reinforced concrete.** American Society of Civil Engineers, 2011.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **Design of concrete structures. CSA Standard-A23.3-14.** Ontario: Rexdale, 2014.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **Canadian highways bridge design code, section 16- Fibre reinforced structures. CSA S806:2012.** Final draft, 2012.
- EUROCODE – European Committee for Standardization – CEN. **Design composite steel and concrete structures.** Part 1.1: General Rules
- EUROCODE – European Committee for Standardization – CEN. **Design of Concrete Structures.** Part 1-6: General Rules and Rules for Buildings. EUROCODE 2, Bruxelas, 1992.
- JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (JSCE). **Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials.** Concrete Engineering Series 23. Tokyo, 1997.
- MACHADO, A. P. **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono.** São Paulo: Pini, 2002, 282 p.
- MICALI, R. M. **Análise teórica de vigas pré-moldadas de concreto com armadura de aço e de polímero reforçado com fibra de vidro em meio altamente agressivo.** Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2010,134p.
- RIBEIRO, S. E. C. **Análise da confiabilidade de vigas de concreto armado com plástico reforçado por fibras.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2009, 139 p.
- RIBEIRO, S. E. C.; DINIZ, S. M. C. **Reliability-based design recommendations for FRP-reinforced concrete beams.** Engineering Structures, v. 52, p. 273-283, July 2013