

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O DIMENSIONAMENTO DE VIGAS BIAPOIADAS DE CONCRETO ARMADO COM AÇO E COM POLÍMERO REFORÇADO POR FIBRAS (PRF)

*COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE DIMENSIONING OF REINFORCED CONCRETE WITH STEEL
AND FIBER REINFORCED PLASTIC (FRP) BI-SUPPORTED BEAMS*

Sidnea Eliane Campos Ribeiro¹, Esther Ribeiro Júlio², Vitor Andrade Riccio³

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Belo Horizonte, MG, Brasil.

¹Doutora em Engenharia de Estruturas. E-mail: sidneaecr@gmail.com

²Engenheira Civil. E-mail: estherribeiroj@yahoo.com.br

³Graduando em Engenharia Civil. E-mail: vitor.riccio@hotmail.com.

RESUMO

O Polímero Reforçado por Fibras – PRF apresenta uma perspectiva promissora para utilização como armadura para o concreto, em substituição as armaduras de aço, que apresentam grandes problemas associados à corrosão. Embora a utilização do PRF como armadura estrutural possa apresentar grandes promessas em termos de durabilidade, as características particulares deste material têm conduzido a novos desafios em relação ao projeto de componentes estruturais. Devido à crescente utilização do PRF e também às diferenças apresentadas entre os dois materiais, um estudo comparativo do dimensionamento de vigas biapoeadas de concreto armadas com aço e com três tipos de PRF é apresentado neste artigo. Foi realizado o dimensionamento à flexão e a verificação das deformações para vigas de concreto armadas com barras de aço e com barras de PRF. Concluiu-se que a área de armadura do PRF pode ser maior ou menor do que a de uma armadura equivalente de aço, de acordo com o tipo fibra utilizada e do modo de ruína do elemento estrutural considerado no cálculo. Percebeu-se também que a utilização da equação normalmente utilizada no cálculo de vigas em concreto armado com aço para o cálculo da armadura em PRF subestima a rigidez à flexão dos polímeros reforçados com fibras.

Palavras-Chave: concreto armado com PRF, plástico reforçado por fibras, flexão em vigas.

ABSTRACT

The Fiber Reinforced Polymer – FRP has a promising prospect for use as reinforcement for concrete, replacing the steel armors that have problems associated with corrosion. Although the use of FRP as structural reinforcement can present great promise in terms of durability, the characteristics of this material have led to new challenges for the design of structural components in reinforced concrete with FRP. Due to the increasing use of PRF and the differences between the materials, a comparative study of design of concrete bi-supported beams reinforced with steel and with three types of fiber reinforced polymer will be presented in this article. It was carried out the design and verification of deformations for steel and FRP reinforced concrete beams. It was noticed that the reinforcement area of the FRP depends on which fiber type used and the considered failure mode of structural element, it may be larger or smaller than that required in the case of steel. It was realized that the equation used to calculate steel reinforced concrete beams when used to calculate the FRP reinforced beams underestimates the polymer stiffness.

Keywords: FRP, reinforced concrete with FRP, fiber reinforced plastic.

1 – INTRODUÇÃO

O concreto armado convencional é composto por concreto simples e armadura de aço (CA) e sua grande adoção deve-se às características de alta resistência mecânica, trabalhabilidade e praticidade dos dois materiais combinados. Apesar de o concreto armado convencional ser bastante utilizado, têm surgido diferentes tipos de concretos que se adequam às diversas exigências da construção civil. Um exemplo dessas variações do concreto armado é aquele que utiliza materiais compósitos.

Os compósitos são materiais de alto desempenho sobre os quais o interesse tem crescido nos últimos anos, pois podem oferecer alta resistência mecânica e grande durabilidade e, como consequência, potencial ganho no ciclo de vida da estrutura (RIBEIRO; DINIZ, 2013). O

Polímero Reforçado por Fibras – PRF é um material compósito que, além de ser usado como reforço de estruturas já existentes, tem sido também empregado como armadura de concreto, em vez da tradicional armadura de aço (LOU; LOPES; LOPES, 2015). Esse material é composto por fibras, usualmente de aramida – PRFA, vidro – PRFV ou carbono – PRFC, e por uma matriz de polímeros.

A durabilidade das estruturas de concreto armado é muito influenciada por fatores climáticos como elevadas umidades, variações bruscas de temperatura e ciclos de congelamento e descongelamento que, em geral, contribuem para a ocorrência de degradação do concreto por microfissuração, lixiviação e outras patologias. No Brasil, devido ao seu vasto litoral, alguns dos fatores que afetam as estruturas de concreto armado são o contato com a água salgada, a maresia e outros agentes químicos. Tudo isso

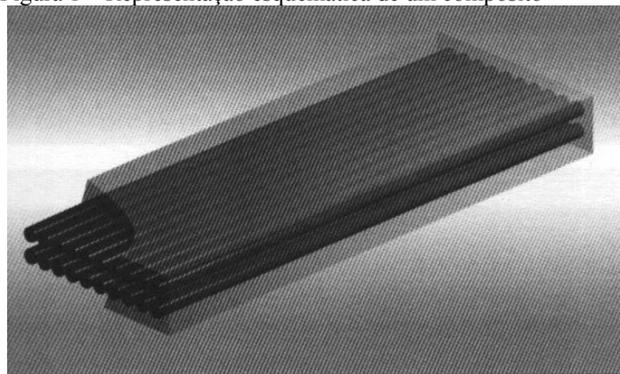
contribui para a corrosão das armaduras de aço do concreto armado convencional, o que pode ser uma grande desvantagem quando comparado ao uso de barras de polímeros, já que estes são anticorrosivos. Além disso, como os PRF não são magnéticos e nem condutores elétricos, são uma boa opção para o uso em fundações e lajes de pisos de áreas laboratoriais com equipamentos médicos de alta sensibilidade, que segundo Micali (2010), carecem de norma que elimine o uso de materiais eletro condutores como o aço.

Embora a utilização do PRF como armadura estrutural possa apresentar grandes promessas em termos de durabilidade, as características particulares deste material têm conduzido a novos desafios em relação ao projeto de componentes estruturais em concreto armado com PRF (CA-PRF) (RIBEIRO, 2009). Nos últimos anos, a construção civil é um dos setores que mais tem utilizado compósitos, mas no Brasil os estudos ainda são recentes nessa área (MICALI, 2010), portanto, faz-se necessário avaliar o desempenho desse material quando comparado a um material já bastante conhecido e largamente utilizado, o aço. Assim, este trabalho pretende comparar o desempenho de vigas de concreto armado com aço e com três tipos de PRF – PRFV, PRFA e PRFC – utilizando os critérios de dimensionamento à flexão da norma técnica ABNT NBR 6118:2014 para vigas de concreto armadas com barras de aço, e das recomendações do ACI 440 1R:2006 para vigas de concreto armado com barras de PRF. A fim de evitar influência da forma das vigas nos resultados, possibilitando uma comparação apenas entre os materiais, foram utilizadas vigas simples, biapoizadas. Com isso, poderão ser analisadas as propriedades das barras de aço e de PRF, percebendo suas vantagens e limitações.

2 – POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS – PRF

O PRF é um material compósito constituído por fibras utilizadas como reforço: usualmente fibras de vidro – PRFV; aramida – PRFA; ou carbono – PRFC, e matriz constituída por polímero. Na Figura 1 é mostrada uma representação esquemática deste compósito. Conforme Ribeiro (2009), as fibras, dispostas unidirecionalmente dentro das matrizes poliméricas, absorvem as tensões de tração decorrentes dos esforços atuantes. A matriz polimérica, à qual cabe a função de manter as fibras coesas, deve também propiciar a transferência das tensões de cisalhamento entre os dois elementos estruturais, o concreto e a fibra. A grande variedade de resinas e fibras propicia a utilização adequada a cada tipo de aplicação. É possível, para cada aplicação, selecionar a resina com propriedades adequadas ao meio ambiente, à resistência à corrosão, ao fogo e à variação de temperatura (MACHADO, 2002).

Figura 1 – Representação esquemática de um compósito



Fonte: Machado, 2002.

3 – DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ARMADO COM AÇO

Segundo Ribeiro (2009), as normas de dimensionamento de concreto armado trabalham com requisitos de que as estruturas de concreto, durante a sua construção e ao longo de toda a vida útil que lhe for prevista, devem comportar-se adequadamente, com nível apropriado de qualidade quanto a todas as influências ambientais e ações que produzam efeitos significativos na construção e em circunstâncias excepcionais, sem apresentar ruptura frágil, ou falso alarme, ou ainda, danos desproporcionais às causas de origem. Essas exigências de qualidade são classificadas por Ribeiro (2009) em três grupos distintos: 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 prematura.

As normas existentes para dimensionamento de peças de concreto armado, tais como a norma ABNT NBR 6118:2014, o ACI 318:2008, o EUROCODE (1992 e 1994), usam o método dos estados limites. Neste estudo foi utilizada a norma ABNT NBR 6118:2014 para o dimensionamento das vigas de concreto armado com aço.

4 – DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ARMADO COM PRF

Conforme Ribeiro (2009), o plástico reforçado por fibras (PRF) vem ganhando uma crescente aceitação como armadura estrutural para o concreto, o que ocorre por este material apresentar grandes promessas em termos de durabilidade e resistência. Porém, tal autor destaca que as características particulares deste material fazem necessária a criação de uma metodologia que considere as características particulares deste tipo de armadura.

Segundo Alsayed, Almusallam e Salloum (1995), as duas principais características particulares das armaduras de PRF são o baixo módulo de elasticidade e a baixa ductilidade. A primeira delas faz com que as deformações de uma viga armada com PRF sejam superiores àquelas observadas no caso de uma viga equivalente armada com aço. Já a baixa ductilidade está relacionada com o modo de

ruptura do PRF, que é súbita. Dessa maneira, é necessário que o projeto de vigas armadas com tal material, possua maior coeficiente de segurança do que das armadas com aço. Isso porque qualquer carga acima da projetada pode gerar o colapso da estrutura.

Vários países, como o Japão (JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – JSCE, 1997) e os Estados Unidos (ACI 440 1R:2006) geraram recomendações para projeto de estruturas em CA-PRF. O Canadá foi o primeiro país a formalizar uma norma de projeto. No lugar de recomendações, o país publicou o CSA S806:2012, norma muito consistente com a norma de projeto de concreto armado tradicional, o CSA A23.3:2014.

4.1 Recomendações de projetos de vigas em CA-PRF

As recomendações existentes têm em comum o fato de serem baseadas em normas de projeto para estruturas em concreto armado com aço (CA), com modificações influenciadas pelas propriedades mecânicas não convencionais da armadura de PRF e por equações empíricas baseadas em alguns trabalhos experimentais. Com isso, o projeto de estruturas de concreto armado com PRF se torna conservador demais. Esse conservadorismo, segundo Bischoff e Gross (2011), se dá pela maneira de cálculo da flexão das vigas, que utiliza uma equação originalmente introduzida por Branson (1965), para concreto armado com aço. Essa equação não modela adequadamente a deformação da armadura de PRF e subestima sua rigidez à flexão. Embora o comportamento elástico linear do PRF seja um importante fator, o impacto da mudança do modo de falha não é tratado em detalhes nestas recomendações já existentes. Neste estudo, devido à falta de normas, recomendações brasileiras sobre o uso de CA-PRF, foram utilizadas as recomendações de projeto do comitê 440 (ACI 440 1R:2006).

4.2 Recomendações de cálculo do comitê ACI 440.1R-06

Segundo o comitê ACI 440:2006, o cálculo da resistência das seções transversais deve ser executado baseado nas seguintes hipóteses:

- A deformação no concreto e no PRF deve ser proporcional à distância do eixo neutro (quer dizer, uma seção plana antes do carregamento, permanece plana após o carregamento);
- É assumido que a deformação máxima de compressão no concreto é de 0.003;
- A resistência à tração do concreto é ignorada;
- O comportamento à tração do PRF é linearmente elástico até falha;
- Existe aderência perfeita entre o concreto e o PRF.

O ACI 440:2006 estabelece que a resistência à flexão (resistência minorada) de uma viga deve exceder ao momento fletor oriundo das cargas atuantes, cargas majoradas. Nas recomendações do ACI 440 os coeficientes de majoração das cargas utilizados são aqueles definidos na norma ACI 318:2008.

A resistência nominal de uma viga em CA-PRF pode ser determinada a partir da compatibilidade de deformação,

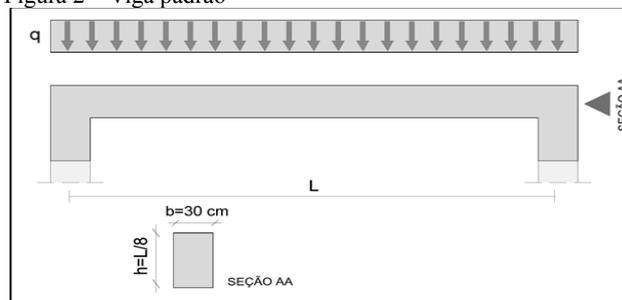
do equilíbrio das forças internas e do modo de falha. O modo de falha pode ser governado pelo esmagamento do concreto (seção superarmada) ou pela ruptura do PRF (seção subarmada) ou ainda pelo esmagamento do concreto ocorrendo simultaneamente à ruptura do PRF (ruína equilibrada). Este modo de falha pode 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 escoar, a taxa de armadura balanceada é calculada usando a resistência à tração de projeto.

5 – MÉTODO

Visando comparar o desempenho à flexão simples e à deformação (flecha) de vigas de concreto armado com aço e com três tipos de PRF: PRFV, PRFA; e PRFC, foi dimensionado e analisado o comportamento de vigas biapoiadas armadas com barras de PRF, dimensionamento com base nas recomendações do ACI 440 1R:2006 e armadas com barras de aço, dimensionamento com base na ABNT NBR 6118:2014. Atenção foi dada à área de reforço necessária à flexão simples e as deformações, flechas, em cada situação.

Foram consideradas, ao todo, 24 vigas, sendo seis vigas para cada material, aço e os três tipos de PRF, biapoiadas, retangulares de base (b) igual a 30 cm e altura (h) variando de acordo com a distância entre os apoios (L) e igual a um oitavo dessa distância, conforme a viga padrão representada na Figura 2.

Figura 2 – Viga padrão



As seis vigas: A, B, C, D, E, F possuem distâncias entre os apoios variando de 2,5 a 5 m, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensão do vão das vigas

Viga	A	B	C	D	E	F
L (m)	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Todas elas foram submetidas ao mesmo carregamento característico por metro linear, sendo as ações permanentes consideradas de 10 kN/m e as sobrecargas de 15 kN/m.

As seis vigas foram armadas com quatro tipos de materiais diferentes: aço, PRFV, PRFA e PRFC e o concreto utilizado foi de resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25 MPa. As propriedades mecânicas, Tensão ao Escoamento ou Resistência à Tração e o Módulo de Elasticidade dos materiais considerados estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas dos materiais utilizados como armadura

Tipo de PRF	Resistência ao escoamento ou à tração, f_{tu} (MPa)	Módulo de Elasticidade, E_f (GPa)
Aço	434,78	210,0
PRFV	552,00	41,4
PRFA	1.172,00	82,7
PRFC	2.070,00	152,0

Fonte: Adaptada de ACI Committee 440:2006.

Com o auxílio de uma planilha de cálculo elaborada no *Microsoft Excel*, foram determinadas as áreas de armadura necessárias para resistir aos momentos fletores causados pelas ações consideradas nas vigas. E posteriormente, foram verificadas as flechas causadas por essas cargas, a fim de se ter uma comparação quanto à rigidez das vigas. Nas vigas com PRF, a metodologia de cálculo utilizada foi a recomendada pelo ACI 440 1R:2006, uma vez que ainda não há no Brasil normas/recomendações para vigas armadas com PRF, e nas vigas com aço, foi adotado o processo de dimensionamento da norma técnica brasileira ABNT NBR 6118:2014.

Os esforços atuantes característicos foram majorados adotando-se as prescrições estabelecidas pela norma ACI 318:2014 para majoração dos esforços nas vigas com PRF (fatores de majoração de 1,2 para carga permanente e 1,6 para a sobrecarga) e pela norma ABNT NBR 8681:2003 para a determinação da combinação dos esforços de cálculo nas vigas com aço (fator de majoração de 1,4 tanto para carga permanente quanto para a sobrecarga).

Com relação aos Estados Limites Últimos, a ABNT NBR 6118:2014 considera o equilíbrio interno das forças na estrutura, a partir do qual estabelece a área de armadura de aço necessária ao dimensionamento seguro da viga. Já a ACI 440 1R:2006, indica 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, reconsiderada até que os critérios de segurança sejam respeitados. Além disso, a norma norte-americana considera os três modos de falhas para as vigas armadas com PRF: esmagamento do concreto, seção superarmada, ruptura do PRF, seção subarmada, e esmagamento do concreto ocorrendo simultaneamente à ruptura do PRF, ruína equilibrada.

Com relação ao cálculo e verificação das deformações nos elementos armados com aço, a norma ABNT NBR 6118:2014 leva em consideração que o aço possui um comportamento elastoplástico, portanto possui uma ruptura dúctil. Para a determinação das flechas nas vigas, verifica-se anteriormente se elas chegam a fissurar, pois o tamanho das flechas depende da ocorrência ou não de fissuração. No caso das 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. As flechas limites permitidas pela norma brasileira e pelas recomendações norte-americanas são, respectivamente L/250 e L/240.

6 – RESULTADOS

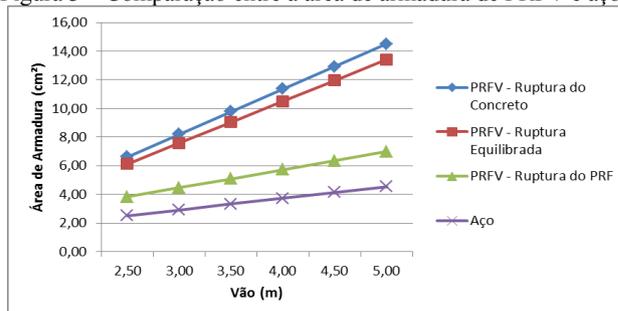
Os momentos atuantes com as cargas majoradas utilizados no cálculo da área de armadura de aço e de PRF, e também os momentos de serviço usadas para a determinação das flechas nas vigas, encontram-se na Tabela 3. Observando a tabela é possível perceber que as recomendações norte-americanas são mais rigorosas na determinação das cargas, pois os momentos atuantes e o momento de serviços encontrados foram maiores do que aqueles determinados por meio da norma brasileira, isso ocorre devido a maior majoração da sobrecarga exigida pela norma norte-americana. O guia ACI 318:2014 prescreve fatores de majoração de 1,2 para carga permanente e de 1,6 para sobrecarga, enquanto a norma ABNT NBR 8681:2003 prescreve fator de majoração igual tanto para a carga permanente quanto para sobrecarga, de 1,4.

Tabela 3 – Momentos atuantes nas vigas

Viga	A	B	C	D	E	F
Vão (m)	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
Momento solicitante de cálculo	PRF 28,13	40,50	55,13	72,00	91,13	112,50
	Aço 27,34	39,38	53,59	70,00	88,59	109,38
Momento de serviço (kN·m)	PRF 19,53	28,13	38,28	50,00	63,28	78,13
	Aço 11,33	16,31	22,20	29,00	36,70	45,31

Como resultado dos cálculos são apresentadas comparações entre as áreas de armadura de PRF e aço, de acordo com o comprimento do vão de cada viga e considerando-se as três rupturas dos PRF. Na Figura 3 é apresentada a comparação entre a área necessária da armadura de aço e de PRFV, na Figura 4 entre a de aço e PRFA e na Figura 5 entre a de aço e PRFC

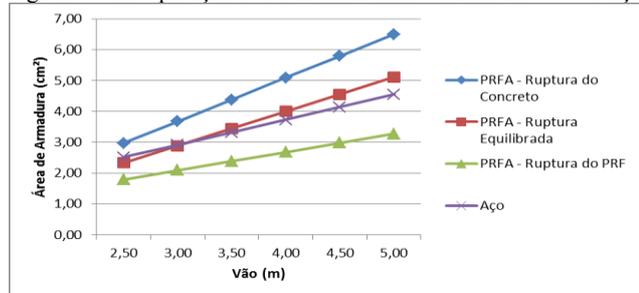
Figura 3 – Comparação entre a área de armadura de PRFV e aço



Independentemente do tipo de ruína considerada, a necessidade de armadura foi maior para o polímero com fibras de vidro do que para o aço (Figura 3). Essa necessidade de mais armadura para o PRFV pode ser devida à baixa resistência à tração considerada para esse polímero, e principalmente por causa do conservadorismo do método adotado pelas normas e recomendações norte-americanas, ACI 318:2014 e ACI 440 1R:2006, já que apesar de menor do que a de outros polímeros, a resistência à tração desse material ainda é maior do que a tensão de escoamento do aço.

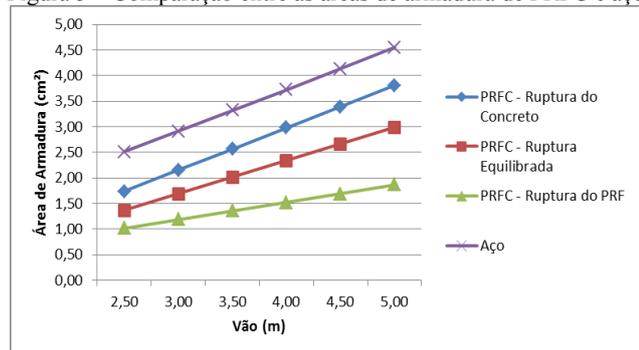
Na Figura 4 pode-se perceber que os valores de área de aço requerida estão próximos dos de área de PRFA, quando considerada a ruína pela ruptura equilibrada entre o polímero e o concreto. Quando considerada a ruína pela ruptura do concreto, a área exigida de armadura do PRFA é maior do que a do aço e se considerada a ruína pela ruptura do PRF, a área de armadura de PRFA requerida é menor do que a de aço.

Figura 4 – Comparação entre as áreas de armadura de PRFA e aço



Comparando-se a área de armadura de PRFC e aço percebe-se que área de aço necessária para resistir ao momento atuante é maior do que a de PRFC em todas as situações de ruína consideradas (Figura 5). Esse resultado pode ser devido à elevada resistência à tração do PRFC considerado.

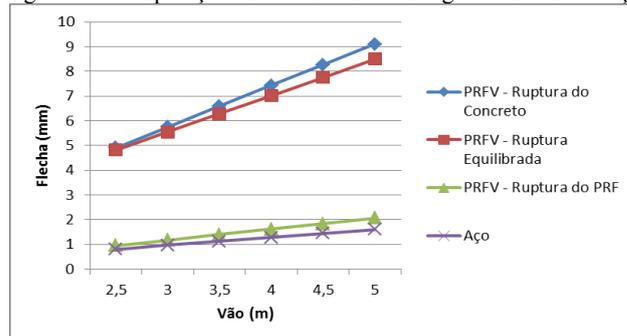
Figura 5 – Comparação entre as áreas de armadura de PRFC e aço



No dimensionamento segundo a ABNT NBR 6118:2014, verificou-se que nenhuma das vigas fissuraria com a carga e dimensões estabelecidas previamente, por isso, as flechas encontradas foram muito menores nas vigas com aço do que com PRF. Na Figura 6 é apresentado o gráfico “Flecha versus Vão” comparando as vigas armadas com aço e PRFV, na Figura 7 é ilustrada a comparação com a armadura de PRFA e na Figura 8 das armaduras de aço e PRFC.

Observa-se que quando considerada a ruína pela ruptura do PRF, as vigas com PRFV atingem flechas pequenas e bem próximas dos valores das flechas das vigas com aço nas mesmas condições. Apesar desses valores próximos, para os três tipos de ruínas as flechas alcançadas com PRFV foram maiores do que com aço (Figura 6).

Figura 6 – Comparação entre as flechas em vigas com PRFV e aço



Observa-se, na Figura 7, que a flecha nas vigas com PRFA foram muito maiores do que aquelas nas vigas com aço, independentemente do tipo de ruína considerada. Nas vigas com PRFC, as flechas quando considerada a ruptura do PRF, ultrapassaram os valores limites permitidos na recomendação norte-americana. Os valores das flechas obtidas pela consideração de ruína pela ruptura do concreto foram próximos àqueles atingidas nas vigas com aço (Figura 8).

Para todos os tipos de PRF e todas as situações de ruínas consideradas, as flechas obtidas nas vigas com polímeros foram maiores do que com aço, o que se deve, em parte, à baixa rigidez causada pelo baixo módulo de elasticidade desse material. No entanto, esse aparente baixo desempenho da armadura de PRF está relacionado ao que foi afirmado por BISCHOFF e GROSS (2011): o modo de cálculo das deformações das vigas subestima a rigidez à flexão dos polímeros reforçados por fibras.

Figura 7 – Comparação entre as flechas em vigas com PRFA e aço

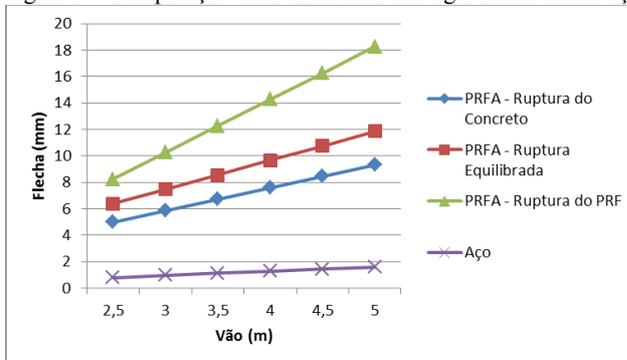
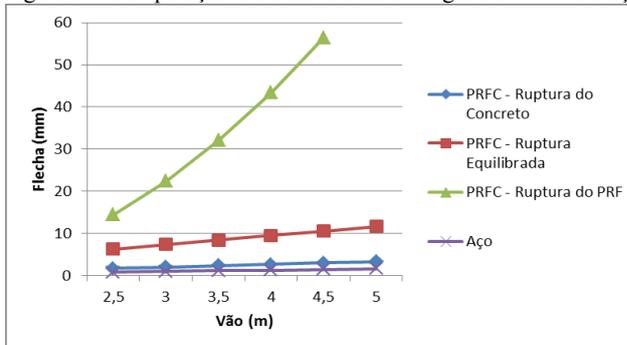


Figura 8 – Comparação entre as flechas em vigas com PRFC e aço



CONCLUSÕES

O objetivo geral desta pesquisa realizada foi avaliar o desempenho de barras de PRF usadas como armadura de reforço de estruturas de concreto armado, quando comparado ao desempenho das barras de aço usadas no dimensionamento de estruturas de concreto armado convencional.

Pode-se concluir que as recomendações norte-americanas consideram uma majoração maior dos esforços solicitantes, se mostrando mais rigorosa do que a norma brasileira nesse sentido. 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, já que as propriedades mecânicas dos PRF variam de acordo com essas características.

Quando se utiliza fibras de vidro a necessidade de armadura de PRFV é maior do que para o aço e também do que para as outras fibras, o que ocorre devido à baixa resistência à tração deste polímero. Apesar de menor, quando comparada aos outros polímeros, a resistência à tração da fibra de vidro ainda é maior do que a tensão de escoamento do aço.

Ao contrário das vigas com PRFV, nas vigas com PRFC, percebe-se que área necessária para resistir ao momento atuante é menor do que a área necessária de aço em todas as situações de ruína consideradas. Esse resultado é devido à elevada resistência à tração do PRFC.

As vigas de concreto, armadas com PRF, atingiram maiores deformações do que as mesmas vigas com armadura de aço, o que está associado à rigidez mais alta do aço, uma vez que todos os PRF apresentam módulo de elasticidade mais baixo do que o aço. A viga que obteve maiores flechas foi a viga armada com fibra de carbono, seguida pela armada com aramida e por última, viga armada com fibras de vidro.

As recomendações de projeto do Comitê 440 (ACI 440:2006) seguem o método dos estados limites e são semelhantes ao projeto de barras de concreto armado com aço. Porém, no caso do concreto armado tradicional, geralmente o escoamento do aço ocorre antes do esmagamento do concreto, o que resulta em uma falha dúctil enquanto no CA-PRF a falha da barra é súbita e catastrófica. Portanto, os modos de falha, ruptura do PRF e esmagamento do concreto são frágeis, porém, aceitáveis, desde que a resistência e critérios de serviços estejam satisfeitos. Para compensar a falta de ductilidade, o guia ACI 440:2006 prescreve uma margem de segurança maior do que a usada para o concreto armado tradicional, de forma que a barra tenha uma maior reserva de resistência.

Além dessa maior margem de segurança, o cálculo das armaduras em PRF com a equação introduzida por Branson (1965), para cálculo de vigas em concreto armado com aço, subestima a capacidade de resistência dos polímeros à flexão. Dessa maneira, mostra-se necessária a elaboração de normas exclusivas para o projeto de estruturas com armadura em PRF, baseadas nas características singulares desse material, de forma a diminuir o conservadorismo em sua utilização e, conseqüentemente, seu custo.

REFERÊNCIAS

ALSAYED, S. H.; ALMUSALIAM, T. H.; AI-SALLOUM, Y. A. **Flexural behaviour of concrete elements reinforced by GFRP bars, non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures**. Edited by Taerwe, L., Published by E & FN Spon, p. 219-226, 1995.

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

_____. **COMMITTEE 440. ACI 440.1R-06**: Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos, 3. ed., Rio de Janeiro, 2014, 238 p.

_____. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas: procedimento. Rio de Janeiro, 2003, 15 p.

BISCHOFF, P. H.; GROSS, S. P. **Design approach for calculating deflection of FRP – reinforced concrete**. American Society of Civil Engineers, 2011.

BRANSON, D. E. Instantaneous and time-dependent deflections of simple and continuous reinforced concrete beams. **HPR Report, n. 7, Part 1**, Alabama Highway Department, Bureau of Public Roads, Montgomery, AL, 1965.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA Standard-A23.3-94**: Design of concrete structures. Ontario: Rexdale, 1994.

_____. **CSA S806**: Canadian highways bridge design code, Section 16 – Fibre reinforced structures. Final draft, 1996.

EUROCODE – European Committee for Standardization – CEN. **Design of Concrete Structures, Part 1-6**: General Rules and Rules for Buildings. EUROCODE 2, Bruxelas, 1992.

_____. European Committee for Standardization – CEN. **Design composite steel and concrete structures – Part 1.1**: General rules and rules for building, EUROCODE 4, Bruxelas, 1994.

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.

LOU, T.; LOPES, S. M. R.; LOPES, A. V. A comparative study of continuous beams prestressed with bonded FRP and steel tendons. **Composite Structures**, v. 124, p. 100-110, June 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.01.009>.

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, 134 p. <https://doi.org/10.11606/d.18.2010.tde-12072010-155426>.

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. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.02.026>.