

ANÁLISE TEÓRICA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADAS COM BARRAS DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRAS

RIBEIRO, Bruna Campos

Graduando em Odontologia
Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte MG.
Email: bcrbrunaribeiro@gmail.com

LOPES, Romário Martins

Engenheiro Civil. UFMG, 2012.
Belo Horizonte, MG.
Email: romariolopes@hotmail.com.

RICCIO, Vitor Andrade

Graduando em Engenharia Civil. Aluno e pesquisador da
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
Belo Horizonte, MG
Email: vitor.riccio@hotmail.com

OLIVEIRA, Danielle Meireles de

Doutora em Engenharia de Estruturas. Professora da
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, MG
Email: danielle@demc.ufmg.br

RIBEIRO, Sidnea Eliane Campos

Doutora em Engenharia de Estruturas. Professora da
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
Belo Horizonte, MG
Email: sidnea@ufmg.br

RESUMO

Neste trabalho foram analisadas vigas de concreto armadas com barras de aço e barras de compósitos formados por fibras envolvidas em uma matriz polimérica denominadas Polímero Reforçado por Fibras por (PRF). Analisando teoricamente, procurou-se compreender a dinâmica que envolve o desenvolvimento dos métodos de cálculo propostos nas normas ACI 440.1R-06 e NBR 6118:2014. As formas de dimensionamento e verificação de deformações que as normas propõem para as barras de aço e para as barras de PRF, foram comparadas de forma a determinar a viabilidade de ambos materiais como reforço nas estruturas de concreto. Comparou-se quatro vigas biapoiadas com geometria, comprimento e esforços solicitantes diferentes, em que as barras de reforço foram dimensionadas conforme os parâmetros de suas respectivas normas. As barras de aço mostraram desempenho superior uma vez que o método dimensionamento de barras de PRF leva em consideração diversos fatores de segurança.

Palavras-Chave: PRF, Concreto armado, Aço.

ABSTRACT

This work aimed at studying concrete beams reinforced with steel bars and composite bars made of fibers involved in a polymer matrix called fiber reinforced polymer (FRP). By using a theoretical approach, this work aimed at understanding the dynamics that involves the development of the calculation methods proposed in the standards ACI 440.1R-06 and NBR 6118: 2014. Dimensioning and verification of deformations are compared to the standards proposed by the standards for the steel bars and FRP bars, in order to determine the viability of both materials as reinforcements in concrete structures. Four beams doubly supported with geometry, lengths and different internal forces were compared, being the reinforcement bars designed according to the parameters of their respective standards. The steel bars have shown better performance since the dimensioning method of FRP bars (ACI 440.1R-06) considers several safety factors.

Keywords: FRP, Reinforced Concrete, Steel

INTRODUÇÃO

No Brasil, o uso de estruturas em concreto armado é amplamente difundido, tornando-o sistematicamente utilizado nas construções de baixo a alto padrão. Nesse cenário consolidado, o interesse por materiais de alto desempenho, de maiores resistência e durabilidade tem crescido muito e, com isso, novos materiais são desenvolvidos para uso na construção civil. Dentre eles, os compósitos a base de fibras e resinas, com destaque para os polímeros reforçados com fibras. Esses materiais se destacam pela resistência mecânica, combinada à resistência à corrosão, este último um fator muito importante no dimensionamento de estruturas de concreto armado. Os polímeros reforçados com fibras (PRF) são compósitos formados por polímeros termofixos (isto é, maleáveis apenas em sua fabricação, tais como poliéster, vinilester ou epóxi), que são reforçados com fibras de espessuras microscópicas que conferem um ganho elevado na resistência a tração e módulo de elasticidade, além da baixa densidade se comparado ao aço (MICALI, 2010).

As normas técnicas que orientam e respaldam os projetos de estruturas armadas com barras de PRF são uma realidade em diversos países do mundo, sendo as mesmas redigidas por entidades que regulamentam as atividades tecnológicas de um país ou mais. A norma ACI 440.1R-15 é um texto normativo do Instituto Americano do Concreto (ACI), que fornece recomendações para o projeto de estruturas de concreto reforçadas com barras de PRF. No Brasil, não há um documento oficial emitido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas que forneça parâmetros para o projeto de estruturas de concreto armadas com barras de PRF, uma vez que são necessários estudos avançados sobre o seu comportamento em face às agressividades ambientais do nosso país.

Preende-se neste trabalho, estudar as diferenças entre os métodos de dimensionamento de estruturas de concreto armado, sendo que para as barras de PRF utiliza-se os critérios da norma ACI 440.1R-15 e a norma NBR 6118:2014 orienta o uso de barras de aço. Serão analisadas as propriedades dos materiais de forma a compreender as vantagens e limitações de ambos. Se faz necessário avaliar o desempenho das barras de PRF como armaduras para o concreto, uma vez que pode ser uma alternativa promissora para empreendimentos implantados em locais de elevada agressividade ambiental no que diz respeito à corrosão, além de desenvolver novos materiais que possam oferecer maior durabilidade as construções.

Sendo assim, esse artigo tem como objetivo principal a demonstração de que vigas de concreto armado com PRF podem ser utilizadas em substituição a vigas de concreto armado com aço em boa parte das construções. Além disso, deseja-se explicitar a possibilidade de elaboração de uma norma para a utilização do PRF como armadura para concreto, baseada na atual norma acerca de concreto armado com aço, o que permitiria a utilização em larga escala desse material. Para isso, foi realizado dimensionamento de vigas de concreto armado reforçado por PRFV, com base na norma ACI 440.1R-15 e a comparação das vigas resultantes com outras, dimensionadas considerando a utilização de concreto armado com aço, baseadas na norma brasileira NBR 6118:2014.

CONCRETO ARMADO COM PRF

O polímero reforçado por fibras (PRF) vem ganhando uma crescente aceitação como armadura estrutural para o concreto o que, segundo Ribeiro (2009), ocorre devido ao fato deste material apresentar grandes promessas em termos de durabilidade e resistência; Além disso, segundo Monte et al. (2014), o concreto armado com PRF além das vantagens técnicas, apresenta vantagens econômicas relacionadas, principalmente, à redução de etapas do processo produtivo e de mão de obra, garantindo maior velocidade e produtividade ao processo. Porém, devido as características particulares deste material,

faz necessário a criação de uma metodologia que considere essas diferenças. Vários países, como o Japão (Japan Society of Civil Engineers – JSCE, 1997) e os Estados Unidos (ACI 440.1 R-15) 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 Canadá publicou o CSA S806, norma muito consistente com a norma de projeto de concreto armado tradicional, o CSA A23.3.

RECOMENDAÇÕES DE PROJETOS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM PRF

As recomendações existentes têm em comum o fato de serem baseadas em normas de projeto para estruturas em concreto armado com aço. As modificações são influenciadas pelas propriedades mecânicas não convencionais da armadura de PRF e equações empíricas são baseadas em alguns trabalhos experimentais dos elementos de concreto armado com PRF. Embora o comportamento elástico linear do PRF seja um importante fator, o impacto da mudança do modo de falha não é tratado em detalhes nas recomendações já existentes. Nos itens 2.1.1 a 2.1.6 são citadas algumas orientações mundiais já desenvolvidas.

ACI 440.1R-15

As recomendações de projeto do comitê 440 (ACI 440) seguem o método dos estados limites e é semelhante ao projeto de barras de concreto armado. 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. Já no caso do concreto armado com PRF a falha da barra é súbita e catastrófica, então 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 ACI 440 (2015) prescreve uma margem de segurança maior do que a usada para o concreto armado tradicional, de forma que a barra tenha uma reserva mais alta de resistência.

O ACI Committee 440 (2015) comenta os resultados experimentais de ensaios realizados por Nanni (1993), Jaeger et al (1997), GangaRao e Vijay (1997), Theriault e Benmokrane (1998), que indicaram que quando as barras de armadura PRF falham à tração, a falha é súbita e conduz ao colapso da barra. Uma falha mais progressiva, menos catastrófica, com maior deformabilidade foi observada quando a viga falha devido ao esmagamento do concreto. O uso de concreto de alta resistência permite o melhor uso das propriedades de alta resistência das barras de PRF e pode aumentar a rigidez da seção fissurada.

Nesse estudo, por opção, será utilizado as recomendações de projeto do comitê 440 (ACI 440). Segundo o comitê ACI 440 (2015) o cálculo da resistência das seções transversais deve ser executado baseado nas seguintes hipóteses:

1. 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);
2. é assumido que a deformação máxima de compressão no concreto é de 0.003;
3. a resistência à tração do concreto é ignorada;
4. o comportamento à tração do PRF é linearmente elástico até a falha da barra e existe aderência perfeita entre o concreto e o PRF.

JSCE (1997)

As recomendações de projeto japonesas para concreto armado com PRF (JSCE 1997) são baseadas nas modificações das normas de concreto armado com aço (JSCE 1986). Estas recomendações tratam do estado limite de serviço e do estado limite último.

CSA S806

O Canadá foi o primeiro país a formalizar uma norma para dimensionamento de estruturas de concreto armado com PRF, baseada e muito consistente com a norma canadense de concreto armado tradicional, CSA A23.3. O CSA S806 fornece fatores parciais de resistência material ao invés de fatores de redução de resistência. A norma não considera a ruptura do PRF como um modo de falha válido, permite apenas o esmagamento do concreto.

NORMA EGÍPCIA

O Egito também já formalizou uma norma para dimensionamento de estruturas de concreto armado com PRF (Egyptian Ministry of Housing, Utilities, and Urban Development 2005). Esta norma é consistente com a norma egípcia de concreto armado com aço (2001).

IStructE, 1999

Na Grã-Bretanha, as recomendações para o uso de CA-PRF (IStructE 1999) foram feitas através de alterações da norma britânica BS8110.

CLARKE ET AL (1996) E EURO-PROJECTS (1997)

As recomendações de projeto Europeias são baseadas em modificações da norma britânica e outras normas europeias de concreto armado, tal como Eurocode 2 (Europa 1992, 1994). Estas recomendações incluem um conjunto de fatores de segurança parciais para a resistência material e rigidez (tabela 3.3), que levam em consideração o comportamento estrutural de curto e longo prazo. Eles não fornecem indicações claras sobre a falha predominante que resultará na aplicação de fatores de redução parciais. A ação mista dos fatores de redução na resistência e rigidez leva a resultados muito conservadores – em particular, quando usando armadura de cisalhamento. Como não se têm recomendações brasileiras para o uso de concreto armado com PRF optou-se por utilizar a ACI.

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Nesse estudo comparou-se os resultados dos dimensionamentos de vigas biapoiadas armadas com barras de PRFV (dimensionamento com base na norma ACI 440.1R-15) e armadas com barras de aço (dimensionamento com base na NBR 6118:2014). Foram analisados a área de reforço, as deformações e o limite de fissuração obtidos em cada dimensionamento. Visando estritamente o desempenho à flexão simples, foram dimensionadas quatro vigas conforme detalhamento na figura 1 e parâmetros da tabela 1.

As únicas variáveis entre as vigas são o seu comprimento e altura que é proporcional ao vão, o permite que a solicitação às barras aumente em função do comprimento das vigas sem que haja distorções nos resultados causadas por outras variáveis.

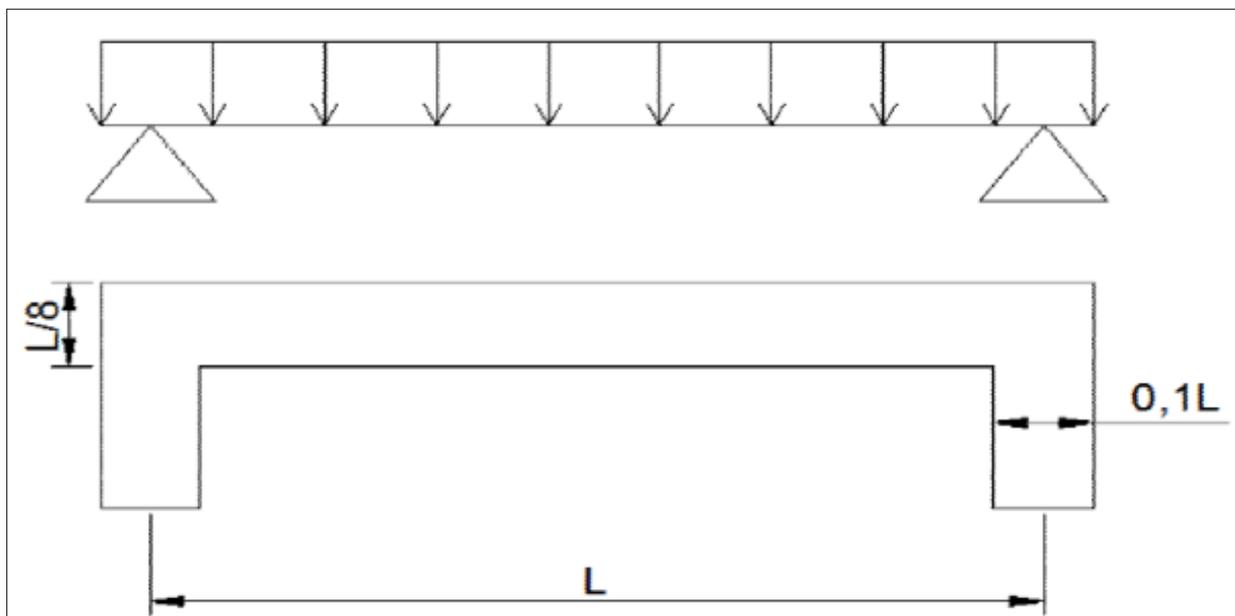


Figura 1- Viga de referência, Onde L é o vão da viga.
 Fonte – Próprios autores, 2015.

Tabela 1- Parâmetros de dimensionamento.

VIGA	VÃO (cm)	Carga Permanente w_{DL} (kN/m)	Carga Variável w_{LL} (kN/m)	Carga Total w_{DL+LL} (kN/m)	f_{ck} (MPa)	b_w (cm)
A	300	10	15	25	30	20
B	350	10	15	25	30	20
C	400	10	15	25	30	20
D	450	10	15	25	30	20

Onde f_{ck} é a Resistência Característica do Concreto à Compressão e b_w é a largura da viga

Além dos dados da tabela 1, foram utilizadas as seguintes premissas:

1. As vigas armadas com barras de PRF foram dimensionadas pela ruína simultânea entre o concreto comprimido e as barras de PRF tracionadas. Essa condição evita que sejam utilizadas armaduras sobre ou subdimensionadas, tendenciando os resultados comparados com o aço que foi dimensionado também para uma condição equilibrada;
2. Foi considerado para todas as vigas a sua implantação em local com a agressividade ambiental mais elevada que as normas abordam, exigindo-se assim cuidados com os cobrimentos;
3. Para efeito de igualdade e por não ser tratado neste trabalho esforços cortantes, foram considerado para todas as vigas estribos de diâmetro de 5 mm;
4. A armadura comprimida na região superior das vigas foi desprezada nos cálculos, sendo que a mesma tem função apenas de fixação dos estribos.
5. A densidade do concreto considerada foi de 2,5 t/m³;
6. A flecha diferida ao longo do tempo foi avaliada para uma duração de 5 anos e a flecha imediata no instante zero em todas as vigas;
7. As barras de PRFV utilizadas no cálculo são produtos disponíveis comercialmente no Brasil, que apresentam módulo de elasticidade de 40800 MPa e resistência à tração de 690 MPa para as barras de 12,7 mm e 655 MPa para as barras de 15,9 mm.

RESULTADOS

Com base no método de dimensionamento da norma ACI 440.1R-15, foram obtidos para as vigas A, B, C e D armadas com barras de PRF os resultados listados na tabela 2.

Tabela 2- Resultados para as vigas armadas com barras de PRF.

VIGAS ARMADAS COM BARRAS DE PRF				
VIGA	A	B	C	D
VÃO (cm)	300	350	400	450
M_{DL+LL} (kN.cm)	3023	4163	5500	7040
h (cm)	37,5	44,0	50,0	55,0
d (cm)	33,0	40,0	45,50	50,5
Cobrimento (cm)	4,5	4,5	4,5	4,5
Nº de barras	4	7	6	6
Diâmetro (mm)	15,9	12,7	15,9	15,9
Área das barras (cm ²)	7,96	9,03	11,94	11,94
w < 0,7 mm (mm)	0,38	0,39	0,20	0,38
$(\Delta_i)_{DL+LL}$ (mm)	9,0	10,0	10,5	14,0
$\Delta_{LT} < (l/240)$ (mm)	11<13	12<15	13<17	17<19
L_d (cm)	109	87	109	109

Onde:

MDL+LL: Momento referente aos carregamentos permanente e variável de utilização;

h: Altura da viga;

d: Distância da fibra mais comprimida ao centroide das barras de PRF;

w: largura da fissura;

$(\Delta_i)_{DL+LL}$: deslocamentos para os carregamentos permanentes

Δ_{LT} : deformação máxima de longa duração

L_d : Comprimento de ancoragem necessário

Em relação ao método de dimensionamento prescrito pela norma NBR 6118:2014, os resultados obtidos para as vigas A, B, C e D armadas com barras de aço CA-50 estão registrados na tabela 3.

Percebe-se na tabela 3 que, ao contrário da norma ACI 440.1R-15, a NBR 6118: 2014 flexibiliza o uso de barras de diâmetros diferentes e que o comprimento de ancoragem calculado foi inferior à largura dos apoios, atendendo a exigência da referida norma.

Exigiu-se no máximo 3 barras para o reforço e, como exposto no dimensionamento de cada viga, a altura da linha neutra não alcançou o limite de 0,63d que é o limite do estado 3. Isso indica que as vigas suportam cargas superiores às da tabela 3 com o mesmo reforço e com margem para o atendimento aos limites de deformação.

Tabela 3- Resultados para as vigas armadas com barras de aço CA-50.

VIGAS ARMADAS COM BARRAS DE AÇO CA-50				
VIGA	A	B	C	D
VÃO (cm)	300	350	400	450
M_{DL+LL} (kN.cm)	3023	4163	5500	7040
h (cm)	37,5	45,0	50,0	55,0
d (cm)	31,5	39,0	44,0	49,0
Cobrimento (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0
Nº de barras	3	2	2 e 1	3
Diâmetro (mm)	10	12,5	12,5 e 10	12,5
Área calculada S_{calc} (cm ²) -	2,31	2,62	3,13	3,71
Área efetiva S_{efet} (cm ²) -	2,40	2,50	3,30	3,75
L_b (cm)	15,7	21,4	19,4	20,2
Flecha inicial (mm)	1,2	1,3	1,6	2,0
Flecha diferida (mm) < (l/250)	3,6<12	3,9<14	4,9<16	6,0<18

Onde:

MDL+LL: Momento referente aos carregamentos permanente e variável de utilização;

h: Altura da viga;

d: Distância da fibra mais comprimida ao centroide das barras de PRF;

Ld: Comprimento de ancoragem necessário

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste trabalho foram utilizados dois métodos de cálculo para dois tipos de reforços diferentes (Aço e PRFV), mas que proporcionaram o dimensionamento de vigas semelhantes. Para análise e discussão dos resultados utilizou-se os gráficos ilustrados nas figuras 2 e 3 que apresentam respectivamente a variação da seção transversal requerida para cada viga em função do material de reforço e as suas deformações.

Diante dos resultados apresentados, verificou-se que:

1. As barras de PRFV necessitam de uma área de seção transversal de reforço maior que o aço, variando de 7,96 cm² a 11,94 cm² para o PRFV e 2,40 cm² a 3,75 cm² para o aço (Figura 2);

2. Para que a linha neutra alcance o limite do domínio 3, o valor do momento atuante na viga poderia ser bem maior que o valor utilizado em todas as vigas. Para que as vigas fossem dimensionadas no limite do domínio 3 com o mesmo carregamento dos modelos reforçados com barras de PRFV, as alturas úteis das vigas seriam inferiores as utilizadas;

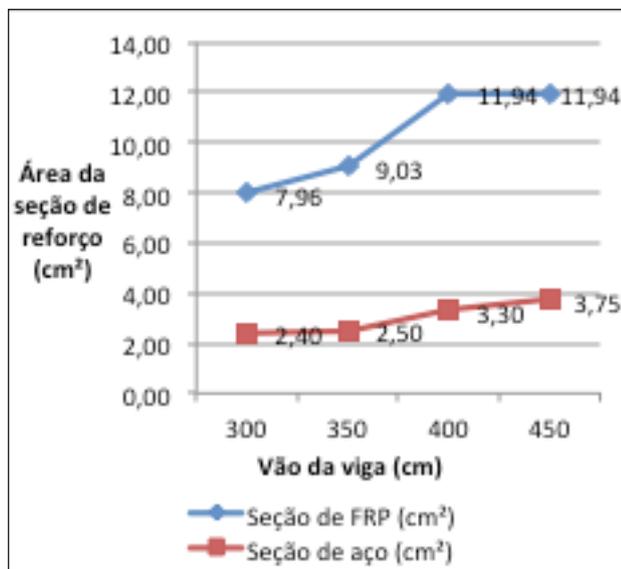


Figura 2 - Seção de reforço requerida.

3. O método de dimensionamento da norma ACI 440.1R-15 não permite que sejam utilizadas barras de diâmetros diferentes na mesma viga pelo fato da resistência a ruptura ser diferente para cada diâmetro de barra;

4. É mais difícil, na norma ACI 440.1R-15, atender simultaneamente aos critérios de abertura de fissuras e de ancoragem. Isso porque ambos variam de forma oposta à medida que aumentam os diâmetros das barras;

5. Os valores das flechas inicial e também a flecha ao longo do tempo foram maiores para as vigas armadas com barras de PRFV em relação ao aço. No caso da deformação máxima para 5 anos, chegou-se entre 11 e 17 mm para o PRFV e 1,2 a 2,0 mm para o aço (Figura 3);

6. Como a NBR 6118:2014 utiliza o método de equilíbrio de esforços internos para determinar os esforços no reforço, a quantidade e o diâmetro das barras são obtidas durante o cálculo. Já para a norma ACI 440.1R-15 as barras são estimadas e apenas verificadas posteriormente.

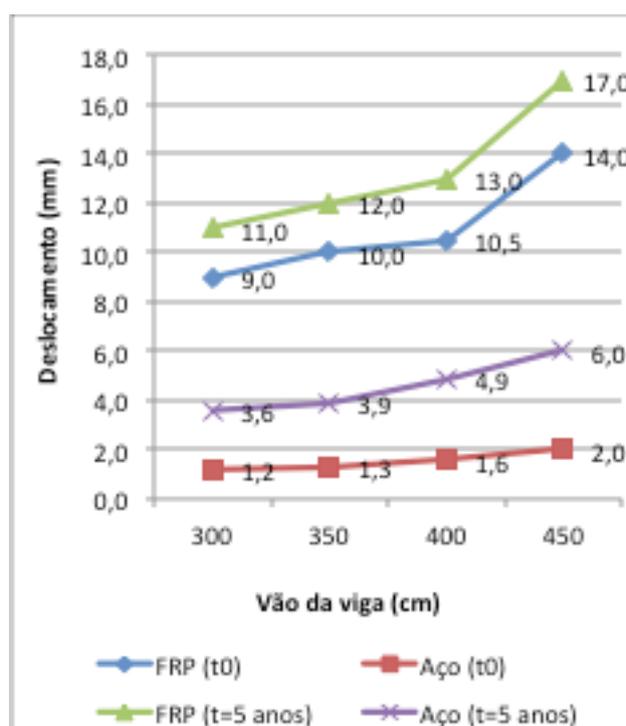


Figura 2 - Deformações iniciais e ao longo do tempo.

Apesar de o dimensionamento das vigas de concreto armado com PRFV ter sido realizado com base em uma norma já aceita internacionalmente, vale salientar que para a elaboração de uma norma brasileira acerca da utilização do concreto armado com PRFV, é necessário que sejam feitos novos ensaios e testes de resistência aos esforços e à corrosão dos materiais. Isso se justifica pela diferença de condições ambientais e de materiais disponíveis em cada país.

CONCLUSÃO

Conclui-se que PRF são viáveis para substituição das barras de aço em estruturas de concreto armado, porém é necessário levar em consideração as peculiaridades desse material como foi feito nas recomendações do ACI 440.1R-15. As recomendações do ACI foram elaboradas e desenvolvidas com ênfase nas barras de PRF e suas particularidades, havendo uma grande preocupação com o comportamento frágil das barras de PRF e com o baixo módulo de elasticidade que faz com que as deformações das vigas armadas com barras de PRF sejam superiores em relação as barras de aço.

Percebe-se que a partir da NBR 6118:2014 pode ser desenvolvida uma metodologia para aplicação das barras de PRF em estruturas de concreto armado, uma vez que os domínios de deformação e as equações de equilíbrio não se restringem exclusivamente ao aço como material de reforço.

Essa proposta, além de ser uma oportunidade para estudos futuros, e uma forma de melhor comparar o desempenho das barras de PRF e a assertividade da norma ACI 440.1R-15. Também, em caso de sucesso, facilitará o ingresso das barras de PRF nos projetos de estruturas, uma vez que os projetistas encontrarão familiaridade com os critérios da NBR 6118:2014.

REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 440. ACI 440.1R-15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with PRF Bars. 2015.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto (NBR 6118). 2014.

ASSOCIACAO LATINO-AMERICANA DE MATERIAIS COMPOSITOS - ALMACO. Faturamento do setor de compósitos cresceu 9% em 2013. Imprensa, São Paulo, mar. 2014. Disponível em: <<http://www.almaco.org.br/imprensa.cfm>>. Acesso em: 28 jun. 2015.

CANADIAN STANDARTS ASSOCIATION "CSA Standard-A23.3-94 – Design of Concrete Structures". Ontario. Rexdale, 1994.

CANADIAN STANDARTS ASSOCIATION (CSA S806). Canadian highways bridge design code, section 16- Fibre reinforced structures. Final draft, 1996.

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.

MICALI, R. M. Analise 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 em engenharia mecânica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos: 2010. 134 p.

MONTE, R.; TOALDO, G. S.; FIGUEIREDO, A. D. de. Avaliação da tenacidade de

concretos reforçados com fibras através de ensaios com sistema aberto. *Matéria (UFRJ)*, v. 19, p. 132-149, 2014.

RIBEIRO, S. E. C. Análise da confiabilidade de vigas de concreto armado com plástico reforçado por fibras. Tese (doutorado em engenharia de estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte: 2009. 139 p.

BRITISH STANDARDS ASSOCIATION. *Structural Use of Concrete, BS8110*, London, 172 pp., 1997.

Clarke, J. L., O'Regan, D. P. e Thirugnanendran, C. Eurocrete project: Modification of design rules to incorporate nonferrous reinforcement. Sir William Halcrow & Partners, London, 1996.

EGYPTIAN MINISTRY OF HOUSING, UTILITIES, AND URBAN DEVELOPMENT. *Egyptian Code for Design and Construction of Concrete Structures*. Giza, Egypt, 217 pp., 2001.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Design of Concrete Structures, Part 1-6: General Rules and Rules for Buildings. Eurocode 2*, Bruxelas, 1992.

EURO-PROJECTS (LTTC). *The development of non-ferrous reinforcement for concrete structures, Eurocrete project Final Rep.*, Loughborough, 1997.

EGYPTIAN MINISTRY OF HOUSING, UTILITIES, AND URBAN DEVELOPMENT. *Egyptian Code for the Use of Fiber Reinforced Polymers (FRP) in the Construction Fields*, Egyptian Housing and Building National Research Center, Giza, Egypt, 2005.

GANGARAO, H. V. S. e VIJAY, P. V. Design of Concrete Members Reinforced with VPRF Bars. *Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (PRF) Reinforcement for Concrete Structures (PRFRCS-3)*, Japan Concrete Institute, Sapporo, Japan, V.1, pp 143-150, 1997.

IStructE, *Interim Guidance on the Design of Reinforced Concrete Structures using Fibre Composite Reinforcement*, Institution of Structural Engineers, London, 116 pp, 1999.

JAEGER, L. G.; MUFTI, A. e TADROD, G. The Concept of the Overall Performance Factor in Rectangular-Section Reinforced Concrete Beams. *Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (PRF) Reinforcement for Concrete Structures (PRFRCS-3)*, Japan Concrete Institute, Sapporo, Japan, V.2, pp. 551-558, 1997.

NANI, A. Flexural Behavior and Design of Reinforced Concrete Using PRF Rods. *Journal of Structures Engineering*, N° 11, V. 119, pp 3344-3359, 1993.

THERIAULT, M. e BENMOKRANE, B. Effects of PRF Reinforcement Ratio and Concrete Strength on Flexural Behavior of Concrete Beams. *Journal of Composites for Construction*, N° 1, V 2, pp 7-16, 1998.