

ESTUDO DE PILARES CURTOS CONFINADOS COM COMPÓSITOS DE FIBRA DE CARBONO

Wellington Mazer¹; Elisabeth Penner²; Ana Caroline Stella³

Resumo

O presente trabalho aborda um estudo sobre a utilização de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) em reforço de estruturas de concreto armado, pois podem surgir patologias devidas á mudança de uso da edificação bem como desgaste dos materiais que a constituem. Quando a coesão entre a pasta de cimento e os agregados é superada, ocorrem microfissuras no concreto, que crescem com o aumento da carga, ocorrendo o rompimento deste. O confinamento, por sua vez, aumenta a coesão e, conseqüentemente, a resistência do concreto. A maneira mais usual de reforço era a adição de armaduras transversais, porém cada vez mais vem sendo utilizados os PRFC, pois não alteram a rigidez elástica do pilar e resistem muito bem à corrosão, além de possibilitar a pressão crescente até a ruptura. As peças ensaiadas foram confeccionadas com dimensões de 10x10x60cm, com bordas arredondadas e foram aplicadas uma e duas camadas de reforço com PRFC sobre elas. Os resultados obtidos foram indicam um ganho maior do que 60% na capacidade de carga com a primeira e de mais de 100% com a segunda camada de fibra aplicada, quando reforço.

Palavras-chave: Compósito de fibra de carbono, reforço estrutural, pilares curtos.

Abstract

This work refers on a study of polymeric reinforcement using carbon fiber (PRCF) on the fortification of wired concrete, because pathologies may appear caused by the edification usage as well as the material wear of it. When the cohesion between the cement paste and the aggregates is overcome, micro fissures appear on the concrete, which grow with the increase of the load, breaking it. The confinement, on the other hand, increases the cohesion and the resistance, consequently. The most usual way of reinforcement is the addition of transverse fittings, however the PRCF are been used more often, because the elastic rigidity of the pillar does not change and can resist very well the corrosion, beyond enable the growing pressure until the break. The samples were made with dimensions of 10x10x60cm, with rounded edges, and one and two layers of PRFC were applied on them. The results were a bigger gain than 60% on the resistance in the first and more than 100% resistance on the last applied carbon fiber layer, compared to a sample that does not have the carbon fiber layer.

Key-words: Composite of carbono fiber, Structural reinforcement, Short columns.

Introdução

O concreto armado é o principal material utilizado na execução de estruturas de edifícios, porém, devido à alteração de uso da edificação, manifestações patológicas ou

¹ Doutor pelo Programa Especial - Infraestrutura Aeroportuária pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR. E-mail: wmazer@utfpr.edu.

² Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo-USP, professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR. E-mail: epenner@utfpr.edu.br

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR. E-mail: wmazer@utfpr.edu.

mesmo o desgaste natural do material, às vezes se faz necessária a execução de uma recuperação ou de um reforço estrutural.

Em termos de reforço estrutural, existem diversas técnicas possíveis, entre elas destaca-se o uso de chapas metálicas, o aumento da seção transversal com concreto armado e o uso de compósitos de fibra de carbono. A escolha do método a ser utilizado deve ser orientada em critérios de viabilidade técnica e econômica e eficiência.

Ribeiro (2010) já alerta para a necessidade de que profissionais da área de engenharia se aprimorem para a utilização das técnicas de reforço estrutural, em particular a utilização de compósitos de fibra de carbono.

O presente estudo visa utilizar os compósitos de fibra de carbono como elemento de reforço estrutural de pilares por efeito de confinamento do concreto, uma vez que este material possui baixo peso e grande resistência à tração e corrosão, quando comparado com o aço e o concreto.

1 Confinamento de Pilares

Segundo o FIB (1999) apud Carrazedo (2002), cerca de 75% da constituição de um concreto consiste em agregados, de diversos tamanhos, que constituem os componentes rígidos do concreto e que transmitem os esforços de compressão que atuam sobre o material. A coesão da pasta de cimento mantém a união e o equilíbrio dos materiais constituintes do concreto. Quando esta coesão é superada, surgem as primeiras microfissuras entre os agregados e a pasta de cimento. Estas microfissuras crescem com o aumento da carga e o concreto rompe com fissuração paralela à aplicação da carga. O confinamento aumenta a coesão, resultando em uma maior resistência do concreto.

O confinamento é uma técnica de reforço de estruturas de concreto armado, pois essa produz um ganho na ductilidade e um aumento na resistência à compressão do concreto através da pressão lateral exercida, ou pelas armaduras transversais ou pelo encamisamento com tubo de aço ou por compósitos.

A técnica mais comum para o confinamento de pilares é a adição de armaduras transversais (estribos) ao concreto, porém, nos últimos anos vem sendo cada vez mais usados compósitos de polímeros reforçados com fibra de carbono (CFRP's), pois esses praticamente não alteram a rigidez elástica do pilar, têm uma ótima relação resistência x peso e uma excelente resistência à corrosão (WANG; WU, 2007).

No entanto, Ribeiro (2010) salienta que o reforço de pilares com compósitos de fibra de carbono se mostra eficaz apenas no aumento da ductilidade e na segurança à ruptura. Não sendo aconselhado o aumento da capacidade de carga, pois isto somente ocorre após o limite de deformação de 0,2%, definido pela NBR 6118) ser ultrapassado.

Oliveira e El Debs (2009) estudaram o efeito do confinamento em pilares mistos preenchidos tendo observado que o efeito do confinamento diminui conforme aumenta a resistência do concreto e conforme diminui a espessura do tubo de confinamento.

Segundo Carrazedo (2002), existe uma grande diferença na pressão lateral desenvolvida por estribos de aço e por compósitos. O aço, após atingir o escoamento, proporciona uma pressão constante, enquanto o compósito possibilita uma pressão crescente até sua ruptura.

Os resultados obtidos em uma pesquisa realizada por Mirmiran *et al.* (1998) deixam evidenciados que a eficácia do confinamento com polímeros reforçados com fibra em pilares de concreto depende de vários parâmetros, como, a resistência do concreto, os tipos de fibras e da resina, a orientação e a quantidade de fibras, a espessura do revestimento, a forma da seção transversal, a esbeltez do pilar e a ligação da interface entre o núcleo de concreto e o revestimento (WANG e Wu, 2007).

Carrazedo (2002) cita alguns modelos de reforço estrutural baseados em análises experimentais para o cálculo da resistência do concreto confinado com PRFC's, eles são apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Modelos matemáticos de reforço estrutural com compósitos de fibra de carbono.

Modelo Analítico	f_{cc}
Kono et al. (1998)	$\frac{f_{cc}}{f_{c0}} = 1 + 0,0572f_l$
Toutanji (1999)	$\frac{f_{cc}}{f_{c0}} = 1 + 3,5 \left(\frac{f_l}{f_{c0}}\right)^{0,85}$
Saafi et al. (1999)	$\frac{f_{cc}}{f_{c0}} = 1 + 2,2 \left(\frac{f_l}{f_{c0}}\right)^{0,84}$
Spoelstra & Monti (1999)	$\frac{f_{cc}}{f_{c0}} = 0,2 + 3 \left(\frac{f_l}{f_{c0}}\right)^{0,5}$

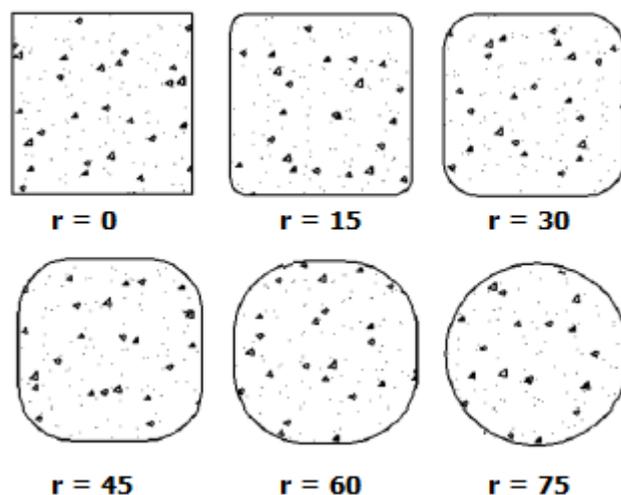
Fonte: Carrazedo (2002).

onde:

- f_{cc} é a resistência do concreto confinado;
- f_{c0} é a resistência do concreto não confinado;
- f_l é a pressão lateral.

Wang e Wu (2007) estudaram a influência da forma do pilar na eficiência do reforço por confinamento com compósitos de fibra de carbono, como ilustrado na Figura 1, tendo concluído que o raio das bordas dos pilares apresentam grande influência na eficiência do sistema, sendo que o aumento do raio conduz a um aumento na capacidade de carga do pilar.

Figura 1 - Seções transversais ensaiadas



Fonte: Wang e Wu (2007).

Os ganhos de resistência observados neste estudo variam de 5,5% no pilar com raio de 15mm com uma camada de reforço até 274,4% no pilar circular com duas camadas de reforço.

Silva e Dalla Bella (s/d) também observaram a influência da geometria do pilar no comportamento do confinamento, concluindo que os cantos arredondados aumentam a eficácia do sistema, além disso recomendam o cálculo do coeficiente de eficiência e não recomendam a utilização de modelos numéricos que considerem a pressão de confinamento constante.

2 Materiais e Métodos

Nesta pesquisa foram ensaiadas três situações com pilares: sem o reforço, com uma camada de reforço e com duas camadas de reforço com compósitos de fibra de carbono. Para cada situação foram produzidos três corpos de prova. Cada corpo de prova foi submetido a uma carga axial centrada, incrementada até a ruptura.

Todos os modelos mediam 10 cm x 10 cm x 60 cm, e tiveram suas bordas arredondadas com raio de 20mm. Para essas dimensões o índice de esbeltez é $\lambda = 20,78$

< 35, o que caracteriza um pilar curto. A armadura utilizada foi 1 ϕ 6,3 em cada canto, totalizando uma área de aço (A_s) de 1,247 cm², superior ao A_s mínimo fixado pela NBR 6118/2007.

O concreto foi dosado para uma resistência de 30 MPa, sendo que o traço, em massa, utilizado está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Traço unitário do concreto em massa.

Material:	Traço em massa (kg):
Cimento CP II Z - 32	1,000
Areia	2,183
Brita 1	1,604
Água	0,621

Fonte: Elaborado pelos autores.

A aplicação do compósito de fibra de carbono foi feita 69 dias após a moldagem dos pilares e os ensaios de ruptura foram realizados após 90 dias. Sendo que a aplicação do reforço foi feita pela mesma pessoa em todos os modelos, para assim diminuir o risco de possíveis distorções nos resultados. A fibra de carbono utilizada consiste em uma manta unidirecional com resistência à tração de 3860 MPa, módulo de elasticidade 242 GPa e alongamento na ruptura de 1,5%. Para a aplicação da manta foi utilizado um adesivo tixotrópico com tensão de aderência de 14MPa e módulo de elasticidade de 4,7MPa e uma resina de impregnação com tensão de aderência de 45MPa e módulo de elasticidade de 3,0GPa.

As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, a colocação da manta de fibra de carbono e o sistema de reforço já concluído.

Figura 2 - Execução do reforço estrutural (a) e . Pilar após o reforço (b).



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após o término do sistema de reforço dos pilares, os mesmos tiveram seus topos retificados para garantir uma uniformidade na aplicação da carga.

Os corpos de prova foram identificados como $P_{i,j}$, onde “i” é o número de camadas de fibra de carbono e “j” o número de identificação dos pilares, sendo os pilares rompidos em uma prensa com capacidade de 100 toneladas, em um ensaio monotônico crescente, onde foi aplicada carga axial centrada até o rompimento, como indicado na Figura 3.

Figura 3 - Ruptura do pilar de referência



Fonte: Elaborada pelos autores.

3 Resultados e Discussão

Neste tópico são apresentados os valores de carga axial aplicada e tensões normais aplicada em cada corpo de prova, como indicado na Tabela 2.

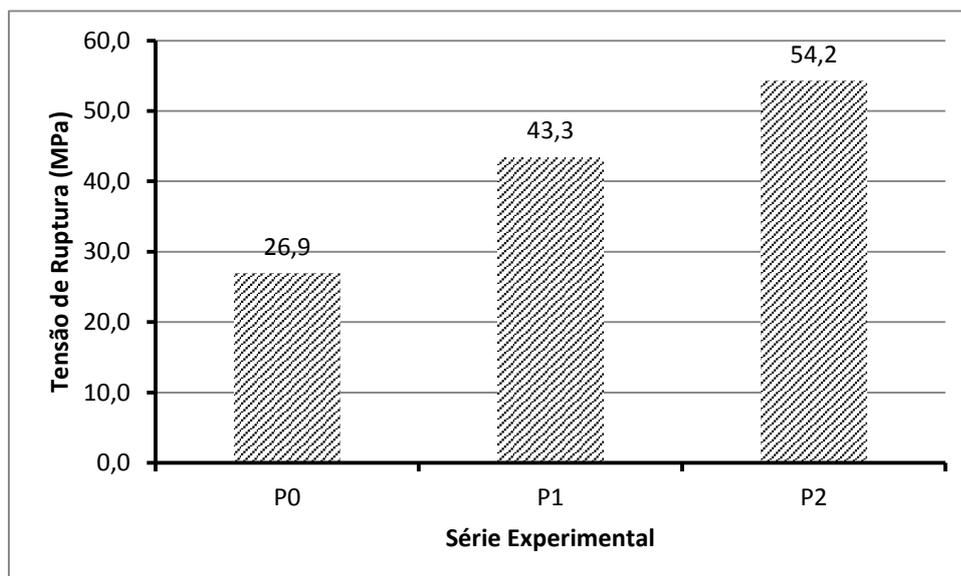
Tabela 2 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.

Pilar	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Aplicada (MPa)
P _{0,1}	328,52	27,4
P _{0,2}	306,46	26,0
P _{0,3}	311,36	27,3
P _{1,1}	495,24	42,8
P _{1,2}	505,04	43,3
P _{1,3}	558,98	43,9
P _{2,1}	605,56	50,3
P _{2,2}	671,76	57,8
P _{2,3}	656,01	54,6

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os valores médios de tensão de ruptura de cada série experimental são apresentados na Figura abaixo.

Figura 4 - Média das tensões de ruptura.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando os valores médios de tensões de ruptura, observa-se que a utilização de uma camada de reforço do pilar com o compósito de fibras de carbono produziu um ganho de resistência de 61,1%, enquanto que a utilização de duas camadas de reforço gerou um ganho de 101,6%.

Aplicando os modelos analíticos para a determinação da tensão de ruptura de pilares confinados com compósitos de fibra de carbono, indicados na Tabela 1, verificou-se que o modelo proposto por Kono et al (1998) foi o que apresentou resultados mais próximos dos valores observados em laboratório. Na Tabela 3 estão indicados os resultados obtidos com a aplicação dos diversos modelos.

Tabela 3 - Resultados da aplicação dos modelos teóricos.

Modelo	Fcc (MPa)	Diferença (%)
Kono et al. (1998)	42,22	-2,59
Toutanji (1999)	67,34	55,38
Saafi et al. (1999)	52,58	21,31
Spoelstra & Monti (1999)	54,47	25,68

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados apresentados acima são válidos apenas para uma camada de reforço com o compósito de fibra de carbono.

4 Conclusões

Os resultados obtidos indicam que o aumento de resistência à compressão nos pilares devido ao confinamento utilizando compósitos de fibra de carbono não é linear com o aumento do número de camadas de reforço, tendo sido observada uma diminuição na eficiência. Também foi possível observar que alguns modelos teóricos superestimam a resistência estimada, dando indícios de que esta teoria ainda carece de pesquisas mais aprofundadas.

Agradecimentos

Agradecemos à Techniques Soluções em Engenharia pelo financiamento da pesquisa.

Referências

CARRAZEDO, R.; **Mecanismos de confinamento e suas implicações no reforço de pilares de concreto por encamisamento com compósito de fibras de carbono.** Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MIRMIRAN, A.; SHAHAWY, M.; EL KHOURY, C.; NAGUIB, W.; Large beam-column tests on concrete-filled composite tubes. **ACI Structural Journal**, ACI vol. 97, n. 2, pp 268-276, 2000.

OLIVEIRA, W. L. A.; EL DEBS, A. L. H. C.; Estudo do efeito do confinamento do concreto em PMP curtos. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 11, n. 48, pp. 38-53, 2009.

RIBEIRO, P. T. P.; A Lenda do Reforço à Compressão de Pilares de Concreto Armado por Encamisamento com Elementos Compósitos. **Engenharia Estudo e Pesquisa**. Santa Maria, v. 10, n. 1, pp. 46-53, 2010.

SILVA, A. S.; DALLA BELLA, J. C.; Comportamento e Critérios de Dimensionamento de Pilares Curtos Confinados por Compósitos Flexíveis de Fibras de Carbono. V Simpósio Jepsu sobre Estruturas de Concreto.

WANG, L.; WU, Y.; **Effect of corner radius on the performance of CFRP-confined square concrete columns: Test.** Hong Kong, 2007.