

REFORÇO AO CISALHAMENTO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO-SE MATERIAIS COMPÓSITOS DE PRFC

Shear strengthening of reinforced concrete beams by externally bonded CFRP systems

Nara Villanova Menon¹, Ivo José Padaratz²

Recebido em 14 de outubro de 2013; recebido para revisão em 18 de outubro de 2013; aceito em 03 de fevereiro de 2014; disponível on-line em 13 de abril de 2014.



PALAVRAS CHAVES:

Concreto armado;
Reforço estrutural;
Vigas;
Cisalhamento;
Materiais compósitos de
PRFC.

KEYWORDS:

Urban drainage;
Reinforced concrete;
Structural strengthening;
Rectangular beams;
Shearing;
Carbon Fiber Reinforced
Polymer – CFRP;

RESUMO: A engenharia civil nas últimas décadas tem reconhecido a necessidade crescente de reforçar ou reabilitar as estruturas de concreto armado. Os conhecimentos sobre o uso de materiais compósitos, contudo, ainda não são suficientes para permitir fundamentar o desenvolvimento de normas para projeto e execução de reforços com o emprego desses materiais. Avaliar a resistência e o modo de colapso de vigas de concreto armado reforçadas ao esforço cortante com laminados e tecidos de PRFC (Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono) externamente colados foi o objetivo desta pesquisa. Desenvolveu-se um programa experimental onde dezessete vigas dimensionadas com a mesma armadura longitudinal de flexão e com deficiente armadura convencional de cisalhamento foram ensaiadas. Quatro sistemas de reforços foram avaliados. A utilização de compósitos de PRFC colados externamente como elementos resistentes ao esforço cortante permite aumentos significativos na capacidade de carga nas vigas de concreto armado. Após atingir a carga máxima, as vigas reforçadas com laminados apresentaram uma grande capacidade residual, demonstrativo da sua grande ductilidade para grandes deformações. O melhor desempenho deve ser atribuído aos laminados inseridos, pois apresentam alta eficácia, não ocorre desprendimento das lâminas e aumentam consideravelmente a capacidade resistente ao cisalhamento.

ABSTRACT: The present work studied the behavior of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) composite used as strengthening and rehabilitating structural material in reinforced concrete (RC) beams submitted to shear stress. The current state of the knowledge related to this issue is presented, and different conceptual and design models for shear strengthening of RC beams with CFRP systems are introduced. Four strengthening systems were studied in this research. In order to supply stronger qualitative and quantitative arguments, and to build up potential knowledge on different types of CFRP systems for shear strengthening of RC beams, identical prototypes were used. The study was carried out in conventional RC beams, which were shear strengthened with CFRP plates. Different external bonding positions of the strengthening plates, either on or inside the internal steel stirrups were analyzed; an aspect that had not been mentioned in the specific literature before. The results obtained in the tests are interpreted, discussed and evaluated. These results indicate that the techniques used in this study, to shear strengthen RC beams with CFRP, are viable. They also showed that CFRP laminated plates embedded into slits cut on the beam's lateral surface was the most effective technique.

* Contato com o autor:

¹e-mail : nvmenon@uem.br

(N. V. Menon)

Professora, Doutora do Departamento de Engenharia Civil- Universidade Estadual de Maringá - UEM

²e-mail : ecv1ijp@ufsc.br

(I. J. Padaratz)

Professor, PhD do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

1. INTRODUÇÃO

Devido à sua curta existência em relação a outros materiais já consagrados, a utilização de PRF (Polímeros Reforçados com Fibras) não é muito difundida no mercado da construção civil e ainda necessita de estudos mais aprofundados para o aperfeiçoamento dos modelos de equações de projeto já existentes.

As primeiras pesquisas foram realizadas no Japão, há aproximadamente 25 anos, devido aos problemas com abalos sísmicos. O reforço estrutural com fibra de carbono é feito de maneira que os nós da estrutura sejam enrijecidos, evitando assim a liquefação, que é o efeito causado pelo abalo sísmico. Atualmente, usa-se o reforço em estruturas novas como forma de prevenção.

Após os japoneses, os americanos começaram a empregar o reforço para projetos aeroespaciais da NASA, estendendo-se posteriormente para projetos automobilísticos, como revestimento de carros de Fórmula um, a fim de evitar o esmagamento dos membros inferiores dos pilotos no caso de acidentes.

Segundo Hollaway (2004), em meados dos anos 80 realizaram-se os primeiros ensaios em vigas de concreto reforçadas com PRF efetuados no EMPA (Laboratório Suíço de Materiais), em Zürich. A intenção desse estudo seria a substituição de chapas de aço, inicialmente usadas para reforço, pelos compósitos, devido à suas melhores propriedades mecânicas, facilidade de aplicação e leveza.

Para tal fim, escolheu-se a fibra de carbono, pois essa apresenta um módulo de elasticidade mais alto e compatível com as deformações do concreto armado. Além disso, a matriz mais compatível com tal fibra demonstrou ser a resina epóxi, pois aglutina melhor, tem maior aderência e apresenta uma cura sem retração.

Em 1991, executou-se a primeira obra real com reforço de fibra de carbono, sendo essa a ponte Ibach em Lucerna (Suíça). Nos anos posteriores, realizaram-se mais obras, mas ainda com caráter experimental. Em 1995 o uso sistêmico do método construtivo foi estabelecido e

começou-se a comercialização, especialmente na Suíça e Alemanha. (TÄLJSTEN,1997)

Na América Latina, a utilização de reforço com PRF ainda é defasada em relação ao Japão, Estados Unidos e Europa, nos quais já existem comitês de organizações profissionais que publicaram códigos normativos, boletins, recomendações e guias de projetos.

2. UTILIZAÇÃO DE COMPÓSITOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na engenharia civil, a utilização de compósitos pode ser dividida da seguinte forma:

- a) REABILITAÇÃO: que consiste na restauração da capacidade estrutural de um elemento danificado para a situação anterior a manifestação do processo de degradação ou sinistro;
- b) REFORÇO: consiste na alteração das características da estrutura existente buscando adequá-la a novos parâmetros devido a mudança e/ou aumento das cargas atuantes.

Os estudos sobre reforço de estruturas de concreto com compósitos foram iniciados na década de 90 e a utilização desta técnica tem crescido rapidamente nos últimos anos. Os materiais compostos ou compósitos avançados competem diretamente com as técnicas de reforço tradicionais, como alargamento da seção transversal, protensão externa e placas de aço coladas externamente (KHALIFA e NANNI, 1999).

Os compósitos com PRF oferecem muitas vantagens em relação a outros materiais para reforço como: excelente resistência à corrosão, resistência aos agentes ambientais, alta relação rigidez-peso e resistência-peso e fácil aplicação.

O aparente alto custo dos PRF em comparação com as técnicas convencionais é o maior obstáculo para o emprego dos PRF como material de reforço de estruturas, porém a comparação com base no preço unitário não é apropriada. Quando o custo da instalação é levado em consideração, o material composto pode competir com os materiais convencionais. O baixo peso dos PRF reduz as despesas com

transporte e alguns sistemas pré-fabricados reduzem o tempo no local de trabalho. Se a comparação inclui custos de ciclo de vida, os PRF podem ter uma vantagem significativa (TALJSTEN, 2003).

Os sistemas de compósitos com PRFC têm sido utilizados na construção civil para o reforço em vigas, lajes, paredes, pilares, chaminés, reservatórios, silos, tanques, túneis e tantos outros elementos estruturais sujeitos à deterioração, acréscimo nos carregamentos previstos ou deformações excessivas causadas por mudança de utilização, erros de projeto ou construção, alteração das normas, reabilitação após abalos sísmicos ou após incêndio (SIKA, 2003).

Quando aplicado em vigas de concreto, conforme ilustrado na Figura 1, o sistema em PRFC pode reforçar a flexão, ao cisalhamento e à torção.

A utilização do reforço em vigas inclui:

- pontes moldadas “*in loco*” ou pré-fabricadas, metálicas, vigas compostas de madeira laminada colada;
- estruturas para estacionamento;
- aplicações industriais: apoios para equipamentos, estruturas elevadas.

O sistema de reforço é indicado para aumentar a resistência à flexão e à força cortante

no reforço de paredes de concreto ou alvenaria com cargas excessivas paralelas ou perpendiculares às mesmas, bem como sujeitas a impactos provenientes de explosões. Nas paredes, a utilização do reforço inclui: paredes de concreto, alvenaria ou pré-moldadas; parede submetida a recalque diferencial; parede de tanque; muro de arrimo; poço de elevador; estrutura industrial exposta a cargas de explosão e melhorias para combater abalos sísmicos.

O reforço com PRFC aumenta a resistência à flexão e à compressão por confinamento quando aplicado em pilares, Figura 2. O sistema de reforço com fibras de carbono é ideal em aplicações para carregamento contínuo. Quando aplicado em pilares, o sistema de reforço inclui:

- a) recomposição após abalos sísmicos;
- b) pontes, edifícios, ancoradouros.

Em tubulações ou túneis, quando ocorre excesso de carga lateral, o reforço estrutural com PRFC é utilizado para diminuir a curvatura e o esforço circunferencial.

A Figura 3 ilustra a inclinação excessiva em chaminés devida à carga de vento (a) e o reforço estrutural com PRFC executado para aumentar a resistência à compressão por confinamento (b).



FIGURA 1: Ensaio de viga reforçada ao cisalhamento no EMPA.

Fonte: Sika (2003).

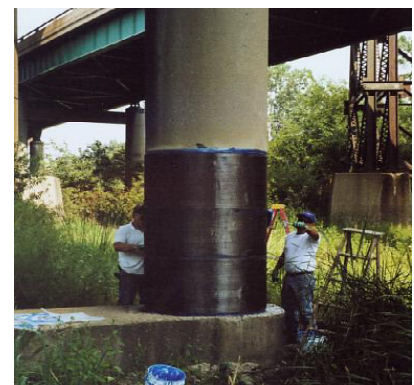


FIGURA 2: Encamisamento de pilar.

Fonte: Master Builders (2001).

O reforço estrutural com PRFC é utilizado em silos e tanques para eliminar o excesso de esforço circunferencial que provoca propagação de trincas em estruturas hidráulicas.

Com o sistema de reforço em PRFC aplicado externamente nas lajes, orientado em uma ou duas direções, as cargas sobre as lajes podem ser aumentadas e as deformações podem ser controladas. Conforme ilustra a Figura 4, a

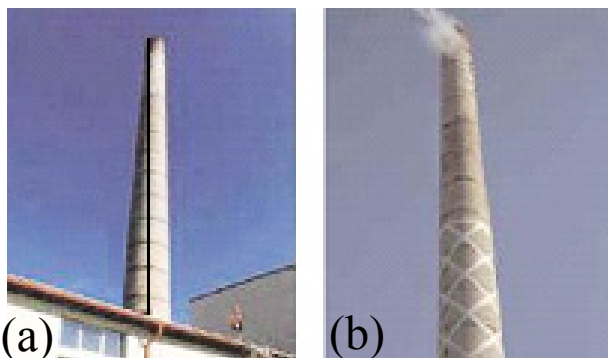


FIGURA 3: a) Chaminé antes do reforço e b) após reforço.
Fonte: Master Builders (2001).

Para poder entender e prever até certo ponto o comportamento dos materiais compostos é necessário conhecê-los um pouco mais, tanto nas características dos materiais como no comportamento destes durante seu processo de aplicação, sem necessidade de entrar necessariamente em aspectos muito complexos de engenharia química.

2.1 DEFINIÇÃO DE COMPÓSITO

Um compósito é um material estrutural formado pela união de dois ou mais materiais de naturezas diferentes. Os constituintes são combinados ao nível macroscópico sendo que um deles é denominado de fase de reforço e o outro é responsável pela impregnação do reforço, conhecido como matriz (Figura 5). O material resultante possui comportamento superior àquele de seus componentes tomados separadamente. O material utilizado no reforço geralmente é um arranjo de fibras, contínuas ou não, de um material resistente que são impregnadas em uma matriz com resistência mecânica inferior às fibras.

Os compósitos são constituídos essencialmente por duas fases, conforme ilustra a

aplicação de fibras ao longo da face interior da laje melhora tanto sua capacidade de carga como também diminui a sua deformação, permitindo que esta absorva maiores momentos positivos. A aplicação do reforço em lajes inclui:

- a) lajes de pontes, lajes de pisos em concreto;
- b) pisos de estacionamento;
- c) aplicações industriais como pisos de processamento e lajes elevadas.



FIGURA 4: Reforço em lajes.
Fonte: Master Builders (2001).

Figura 5. Uma delas, as fibras, apresenta grande resistência, elevado módulo de elasticidade e tem a forma de filamentos de pequeno diâmetro. A outra fase é macia e tem características sinérgicas e denomina-se matriz. Esta última, sendo relativamente dúctil, envolve completamente a primeira fase, permitindo boa transferência de tensões entre as fibras interlaminares e no plano (conceito de sinergia).

Da conjugação destas duas fases nasce a verdadeira força geradora dentre os compósitos reforçados com fibras e as suas relevantes propriedades mecânicas, físicas e químicas quando comparados com os homólogos tradicionais. Embora o comportamento global de um compósito esteja condicionado pelo critério de composição, pelo processo de fabricação e pelos objetivos estruturais na fase de utilização, apresenta propriedades potenciais de interesse para a engenharia. Estas propriedades são: as elevadas resistência e rigidez, o seu baixo peso específico, a excelente resistência à agressividade ambiental, bem como a possibilidade em admitir propriedades direcionais a nível estrutural, elétrico e magnético, variáveis de acordo com a conveniência (Hull, 1987).

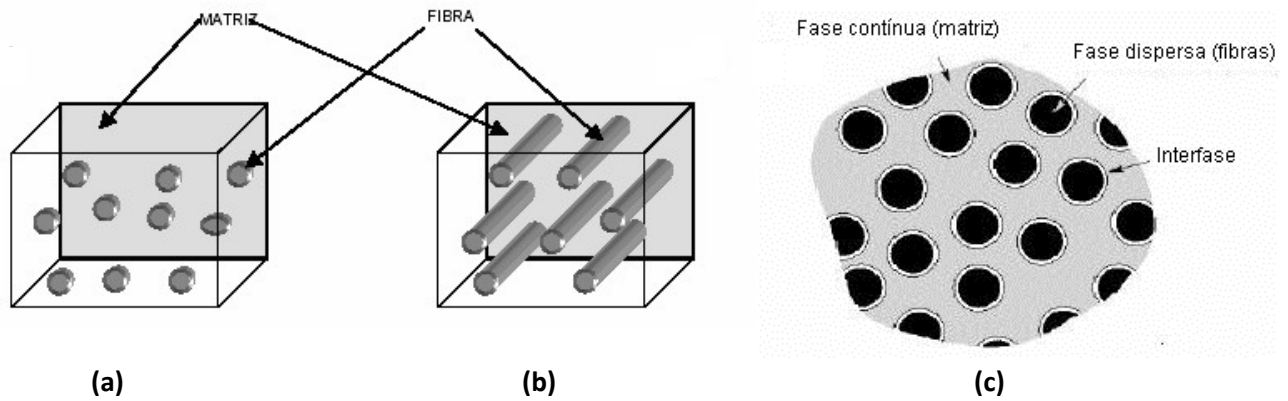


FIGURA 5: Compósitos reforçados com a) partículas e com b) fibras c) Representação esquemática das fases constituintes de um compósito.
Fonte: CNR-DT-200 (2004).

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de estudar a influência do reforço na resistência ao esforço cortante e o comportamento de diversos sistemas de reforços ao cisalhamento com PRFC, norteando-se numa ampla revisão bibliográfica, descreve-se o programa experimental desenvolvido. O trabalho experimental foi executado no laboratório de estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

Baseando-se nos estudos experimentais de López *et al.* (2005), Timoner *et al.* (2005), Pellegrino *et al.* (2006) e Chaallal (2006) optou-se por um ensaio em três pontos com uma carga assimétrica situada a 0,63 metros do apoio esquerdo conforme ilustra a Figura 6.

Menon (2008) para sua tese de doutorado analisou experimentalmente 38 vigas, com seção transversal retangular, divididas em cinco séries de acordo com o sistema de reforço adotado. Quatro séries com quatro vigas cada, denominadas (VC,VCL,VCE,VCT) e uma viga que serviu como referência (VR) serão detalhadas neste trabalho. As quatro vigas que compõem a série que foram reforçadas com lâminas de PRFC cobrindo duas faces das vigas denominam-se VC. As vigas da série onde foram utilizados laminados em forma de L que cobriam três faces das vigas são as VCL. A série VCE foi reforçada por laminados inseridos no concreto de recobrimento a 450 e a série VCT por vigas reforçadas nas quatro faces por faixas de

tecido. Uma viga foi utilizada como referência (VR). Todas as vigas foram igualmente dimensionadas: distância entre vãos de 222 cm e seção transversal de 12x25cm. As armaduras longitudinais de tração e compressão são compostas por duas barras de aço CA-50 com 16 mm de diâmetro. A armadura transversal foi subdimensionada, composta por estribos de aço CA- 60 de 4,2 mm de diâmetro com espaçamento de 18 cm. Para o reforço foram utilizadas quatro alternativas. Na Figura 6 apresenta-se o esquema das vigas ensaiadas com laminados e faixas de tecido a 90^o.

O programa experimental avaliou os deslocamentos verticais abaixo da carga concentrada aplicada, que foram determinados através de um transdutor de deslocamento potenciométrico com curso de 100 mm. Para que os objetivos desta pesquisa fossem satisfatoriamente atingidos, especial atenção à extensometria tornou-se necessária. Para avaliação das deformações nos estribos, foram colocados extensômetros (KFG-2-120-C1-11) protegidos com massa para calafetar e fita isolante. Nas vigas reforçadas foi utilizado somente um extensômetro do tipo (KC-70-120-A1-11), posicionado no concreto entre as lâminas de reforço, disposto a 45^o. Sobre as lâminas e tecido de fibra de carbono foram colados extensômetros do tipo (KFRP-5-120-C1-1). As aberturas das fissuras foram estudadas durante e após o término dos ensaios.

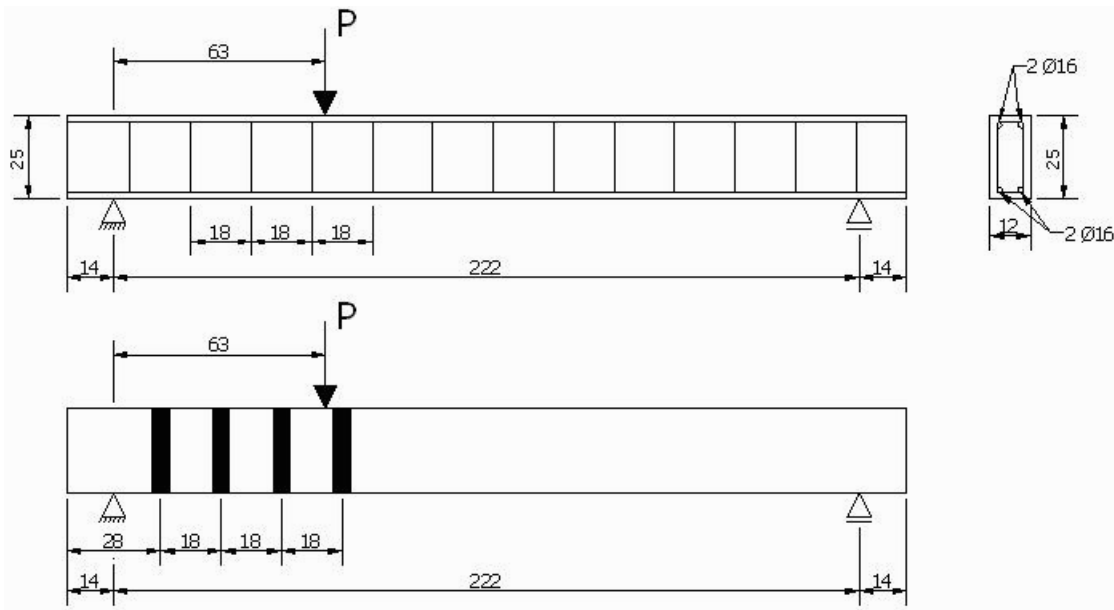


FIGURA 6: Representação esquemática das vigas reforçadas.

Fonte: Menon (2008).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1 Concreto e aço das armaduras

A avaliação da resistência à compressão do concreto foi efetuada experimentalmente aos 28 dias e nas datas das realizações dos ensaios das vigas. Foram utilizados 10 corpos de prova, de

10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, para a obtenção do valor da resistência média aos 28 dias (f_{cm}) e três para as outras datas. Na Tabela 1 apresentam-se os resultados dos ensaios efetuados para a caracterização do concreto e do aço segundo as normas da ABNT NBR 5739/2007 e NBR 6152/2002.

TABELA 1: Características do concreto e do aço das armaduras.

	Dias	F_{cm} (MPa)		
Concreto	28	31,9		
	60	32,2		
	90	34,7		
	Amostra	Diâmetro (mm)	Tensão de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)
Aço	1	4,2		790,96
	2	4,2		805,61
	1	16,0	591,74	730,97
	2	16,0	606,66	740,95

3.1.2 Sistemas de PRFC

Para a pesquisa foram utilizados dois sistemas de compósitos de PRFC laminados pré-fabricados, Sika Carbodur S 512, Sika Carbohear L 4/20/50 (laminados) e Sikawrap- 230 C (tecido). As características dos materiais constituintes dos sistemas adotados foram obtidas das fichas técnicas disponibilizadas pelo fornecedor Sika, que se encontram resumidas na Tabela 2.

3.2 TÉCNICA DE APLICAÇÃO DO REFORÇO

Cada tipo de reforço utilizado envolveu técnicas de preparo diferentes. Os pré-fabricados (laminados) ilustrados na Figura 7 exigiram as seguintes tarefas: 1) abertura de faixas no recobrimento do concreto nas três faces das vigas através de um esmeril, com cerca de 50 mm de largura e 15 mm de profundidade; 2) aplicação de jatos de ar para eliminar as impurezas; 3) aplicação do adesivo nas faixas e nos laminados; 4) colagem dos laminados nas faixas abertas no concreto.

O sistema pré-fabricado (embutidos) inserido em ranhuras efetuadas no concreto de cobrimento das faces laterais das vigas envolveu as seguintes tarefas: 1) abertura das ranhuras no concreto de recobrimento das faces das vigas, com cerca de 5 mm de largura e 15 mm de profundidade; 2) limpeza das ranhuras com aplicação de ar comprimido; 3) corte dos laminados com esmeril; 4) limpeza dos laminados com acetona industrial; 5) aplicação do adesivo nas ranhuras e nos laminados; 6) inserção dos laminados nas ranhuras e retirada do excesso de adesivo com uma espátula.

Já o sistema curado “*in situ*” (tecido) exigiu as seguintes tarefas: 1) preparação da superfície através de um esmeril e abertura de faixas com cerca de 50 mm de largura; 2) aplicação de jatos de ar para eliminar as impurezas; 3) aplicação de uma camada de primário com rolo de espuma para melhorar a aderência concreto-PRFC ; 4) colagem do tecido recorrendo a uma resina epoxílica.

TABELA 2: Características dos constituintes dos sistemas de PRFC

Tipo	Materiais	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Deformação unit. ruptura (%)	Espessura (mm)
Sika Carbodur S 512	laminado	2800	165	1,9	1,2
Sikadur – 30	adesivo	-	10	-	-
Sika Carbohear – L 4/20/50	laminado	2250	120	1,7	1,4
Sikawrap – 230 C	tecido unidirecional	3450	234	1,5	0,12
Sikadur - 330	adesivo	-	45	-	-

Fonte: Menon (2008).



FIGURA 7: Sistemas de reforço utilizando Sika Carbodur e Sika Carbohear L.

Fonte: MENON (2008).



(a) (b)
FIGURA 8: Sistemas de reforço utilizando a) laminados inseridos e b) faixas de tecido
Fonte: MENON (2008).

3.3 ANÁLISE EXPERIMENTAL

Conforme ilustrado na figura 9 o sistema de ensaio experimental foi constituído por: macaco hidráulico manual, célula de carga, transdutor de deslocamento potenciométrico e três tipos de extensômetros da marca KYOWA (KFG-2-120-C1-11 para aço, KC-70-120-A1-11 para concreto e

KPRF-5-120-C1-1 para PRFC), que foram estrategicamente localizados nos estribos, no concreto e nos reforços de PRFC, através de $\frac{1}{2}$ ponte de Wheatstone. Estes instrumentos estavam ligados em um sistema de aquisição de dados, sendo que os valores das medidas indiretas foram obtidos e armazenados no computador através de softwares apropriados.



FIGURA 9: Sistema de ensaio.
Fonte: MENON (2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais são mostrados na Tabela 3. Para cada grupo de sistema de reforço são apresentados: a carga máxima de ruptura, valores teórico e experimental das forças cortantes últimas, deslocamento no ponto de aplicação da carga concentrada, o modo como se romperam e a normalização das medidas.

A viga referência rompeu-se pela ocorrência de uma fissura de cisalhamento no vão de cisalhamento após desenvolvimento de

pequenas fissuras de flexão. As vigas VC1, VC3 tiveram um modo de ruptura frágil ocasionado pelo descolamento da segunda e terceira faixas de laminado no vão de cisalhamento. Este fato ocasionou a abertura excessiva de uma fissura de cisalhamento e pela formação de pequenas fissuras de flexão e cisalhamento ao longo da viga, ocorrendo também o rompimento da armadura transversal. As vigas VC2 e VC4 apresentaram ruptura dúctil, pois se romperam por fissuras de flexão. Estas duas últimas vigas apresentaram alta ductilidade, sendo que a viga VC4 atingiu um

deslocamento 474% maior que o da viga de referência. As vigas do grupo VCL romperam por flexão, onde a região de tração atingiu o seu máximo e apresentaram pequenas fissuras de cisalhamento e flexão ao longo da viga. Nestas vigas a carga residual do valor próximo da correspondente carga máxima foi mantida até flechas elevadas.

Os sistemas de reforços com laminados garantiram um aumento em torno de 50% das suas capacidades de carga das vigas. Mas o melhor desempenho dos laminados é mais notório em termos de ductilidade. As vigas que não tiveram descolamento do sistema de reforço atingiram deslocamentos entre 300% e 470% superiores ao da viga referência.

O melhor desempenho dos laminados foi o fornecido pelo sistema de laminados inseridos no concreto recobrimento. Em termos de ductilidade é notório que neste programa experimental este sistema de reforço atingiu 538.74% sendo que Dias e Barros (2003) atingiram 1006% de acréscimo em seus protótipos. As vigas reforçadas com laminados inseridos no concreto de recobrimento apresentaram modo de ruptura mais dúctil que o verificado no sistema que utilizou tecido de PRFC ou laminados colados nas faces das vigas.

O sistema de reforço que utilizou faixas de tecido de PRFC apresentou bom desempenho, demonstrando constância nos resultados dos protótipos ensaiados. Apesar de vários autores afirmarem que o sistema de reforço com tecido apresenta ruptura mais frágil, as vigas analisadas neste estudo mostraram-se tão eficientes quanto os sistemas que utilizaram laminado.

5. CONCLUSÕES

Os reforços que utilizaram o sistema Sika Carboshear L apresentaram mais eficácia, pois o mesmo comportamento foi verificado em todas as vigas ensaiadas. Quando se utilizou sistema Sika Carbodur as vigas romperam-se de duas formas: quando não havia o descolamento das lâminas, este sistema mostrou-se tão eficiente quanto o outro.

Mas quando as lâminas descolavam, com cargas em torno de 50 kN o ganho era pequeno e apresentavam ruptura frágil.

O melhor desempenho deve ser atribuído aos laminados inseridos, pois apresenta alta eficácia, não ocorre desprendimento das laminas e aumenta consideravelmente a capacidade resistente ao cisalhamento. Ainda pode-se acrescentar a notória ductilidade que este sistema proporciona nas vigas reforçadas.

O sistema de reforço que utilizou faixas de tecido de PRFC apresentou um bom desempenho, apresentando constância nos resultados dos protótipos ensaiados e mostra-se tão eficiente quanto o sistema que utilizou laminados em forma de L.

A utilização de compósitos de PRFC colados externamente como elementos resistentes ao esforço cortante permite aumentos significativos na capacidade de carga das vigas de concreto armado. Após atingir a carga máxima, as vigas reforçadas com laminados apresentaram uma grande capacidade residual, demonstrativo da sua alta ductilidade para grandes deformações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT **NBR 5739**. Concreto- ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

ABNT **NBR 6152**. Materiais metálicos-Ensaio de tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, ABNT, 2002.

CNR-DT 200/2004. **Guide for the design and construction of externally bonded frp systems for strengthening existing structures**. Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction, Rome-Italy, 2004.

DIAS, S.; BARROS, J. Materiais compósitos de CFRP no reforço ao corte de vigas de betão armado. **3º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia**. Maputo, Moçambique, p. 539-550. Ago. 2003.

HOLLAWAY, L. C. Development and review of advanced polymer/fibre composites used in the European construction industry. **II FC INTERNATIONAL**, v. 1, n.1, May 2004.

HULL, D. **An introduction to composite materials.** Cambridge University Press, Great Britain. 1987.

KHALIFA, A.; NANNI A. Rehabilitation of rectangular simply supported rc beams with shear deficiencies using frp composites. **Construction and Building Materials**, Apr. 1999.

MASTER BUILDER. **Externally bonded FRP reinforcement system.** Disponível em: <<http://www.mbrace.com>>. Acesso em: 20 abril de 2001.

MENON, N.V. **Estudo experimental de sistemas de reforço ao cisalhamento em vigas de concreto armado utilizando-se polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC).** Tese (Doutorado em Estruturas). 327f. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2008.

SIKA. **Guía de diseño e instalación sistema Sika Carbodur.** Sika Colombia S.A., Setembro de 2003. CD-ROM.

TÄLJSTEN, B. **Strengthening of concrete structures for shear with bonded CFRP fabrics.** *Recent advances in bridge engineering*, U. Meier and R. eds. EMPA. p. 67-74, Switzerland, 1997.

TÄLJSTEN, B. Strengthening concrete Beams for Shear with CFRP sheets. **Construction and Building Materials**, Elsevier, USA, 2003.