

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE DISTINTAS TÉCNICAS DE REFORÇO AO CORTE DE VIGAS DE BETÃO ARMADO COM CFRP



Salvador DIAS
Assistente
Universidade do Minho
Guimarães
sdias@civil.uminho.pt



Joaquim BARROS
Prof. Auxiliar
Universidade do Minho
Guimarães
barros@civil.uminho.pt

SUMÁRIO

Neste trabalho descreve-se o programa experimental realizado para avaliar a eficácia de distintas técnicas de reforço ao corte de vigas de betão armado com compósitos de CFRP. Os resultados que foram obtidos são analisados e interpretados. Os valores experimentais da contribuição do CFRP no reforço ao corte das vigas ensaiadas são comparados com os resultantes da aplicação de formulações analíticas recentemente propostas.

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos de CFRP têm sido aplicados no reforço ao esforço transversal utilizando-se a técnica designada correntemente por colagem externa. Estudos efectuados, alguns deles descritos por Dias e Barros [1], revelam que esta técnica proporciona aumentos consideráveis de resistência ao esforço transversal de vigas de betão armado. No entanto, os níveis de eficácia desta técnica de reforço são, de um modo geral, significativamente inferiores aos que os CFRP podem proporcionar dado ocorrer o descolamento precoce do reforço. Consequentemente, as elevadas potencialidades destes materiais não são devidamente mobilizadas. Além disto, os CFRP colados externamente ficam expostos directamente à acção do fogo, às condições ambientais e a actos de vandalismo. De forma a aumentar a eficácia do reforço ao corte com compósitos de CFRP, De Lorenzis e Nanni [2] utilizaram varões de CFRP inseridos em entalhes efectuados no betão de recobrimento das faces laterais de vigas de betão armado. Esta

técnica de reforço permitiu aumentar significativamente a capacidade de carga das vigas. Além disso, esta técnica garante uma maior protecção do reforço de CFRP pois este encontra-se inserido no elemento estrutural e não colado externamente. Um dos aspectos menos positivos desta técnica é a necessidade de ter de se efectuar no betão de recobrimento entalhes com grandes dimensões.

Face ao exposto, torna-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas de reforço ao corte com compósitos de CFRP de forma a evitar os aspectos negativos apontados às técnicas desenvolvidas até ao momento e anteriormente referidas. Dias e Barros [3] propuseram uma técnica de reforço ao corte para vigas de betão armado baseada em procedimentos de reforço semelhantes aos utilizados por De Lorenzis e Nanni [2] mas, em vez de varões, foram utilizadas faixas de laminado de CFRP inseridas em finos entalhes. Refira-se que estudos efectuados [4] com esta técnica aplicada no reforço à flexão permitiram verificar tratar-se de uma técnica mais eficaz que as baseadas na colagem externa de CFRP, dado que a precocidade da descolagem do CFRP é retardada, sendo mesmo evitada em muitos casos, resultando níveis de deformação mais elevados nos CFRP e aumentos mais significativos na capacidade de carga dos elementos reforçados. O reforço à flexão de vigas de betão armado permitiu não somente aumentar significativamente a capacidade de carga das correspondentes vigas de referência (não reforçadas), como também assegurar que a rotura das vigas ocorresse para elevados níveis de deformação. Ensaio de arranque em flexão revelaram que as tensões médias de corte alcançadas são significativamente superiores às registadas com técnicas baseadas na colagem exterior [5].

Na secção seguinte apresenta-se o programa de ensaios experimentais com vigas de betão armado realizado com o objectivo de avaliar a eficácia de distintas técnicas de reforço ao corte com compósitos de CFRP unidireccionais. Os parâmetros avaliados foram a técnica de reforço ao corte com CFRP, a altura da viga, a percentagem de CFRP e a inclinação dos CFRP.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A campanha de ensaios experimentais realizada englobou duas séries de vigas de betão armado (séries A e B). A série A era constituída por dez vigas com secção transversal de $0.15 \times 0.3 \text{ m}^2$, comprimento de 1.6 m e vão de 1.5 m. As dez vigas da série B tinham uma secção transversal de $0.15 \times 0.15 \text{ m}^2$, comprimento de 1.0 m e vão de 0.9 m. As vigas foram ensaiadas à flexão em quatro pontos de carga e apresentavam um vão de corte igual a duas vezes a altura da secção transversal. Para cada uma das séries foram considerados dois tipos de armaduras longitudinais na face traccionada, um constituído por $4\phi 10$ e o outro por $4\phi 12$. Em todas as vigas utilizaram-se $2\phi 6$ para armadura longitudinal de compressão. A resistência ao corte foi materializada recorrendo a quatro distintos sistemas de reforço. Um utilizando estribos de aço convencionais e os restantes adoptando compósitos de CFRP unidireccionais. Nestes últimos, recorreu-se a faixas discretas de manta de CFRP, em forma de U, coladas externamente e a laminados de CFRP inseridos em entalhes efectuados no betão de recobrimento das faces laterais das vigas (entalhes verticais e entalhes inclinados a 45°). A quantidade de reforço nos vários sistemas utilizados foi determinada para que o modo de ruína dos elementos fosse por corte e para valores de cargas semelhantes [3]. Na Tabela 1 apresentam-se os dados necessários para a caracterização dos modelos das séries de vigas ensaiadas.

Tabela 1 - Informações gerais sobre os modelos ensaiados.

Designação das vigas	Armadura longitudinal	Resistência ao esforço transversal
VA10		-
VAE-30		Estribos de aço verticais (6φ6, 2r *, 300 mm de espaçamento)
VAM-19	4 φ10 (tração)	Mantas de CFRP coladas externamente (forma de U, fibras orientadas a 90°, 8 faixas de 2 camadas com 25 mm de largura e 190 mm de espaçamento)
VACV-20		16 laminados de CFRP inseridos em entalhes verticais (200 mm de espaçamento)
VACI-30		12 laminados de CFRP inseridos em entalhes inclinados a 45° (300 mm de espaçamento)
Série A		
VA12		-
VAE-15		Estribos de aço verticais (10φ6, 2r *, 150 mm de espaçamento)
VAM-9.5	4 φ12 (tração)	Mantas de CFRP coladas externamente (forma de U, fibras orientadas a 90°, 14 faixas de 2 camadas com 25 mm de largura e 95 mm de espaçamento)
VACV-10		28 laminados de CFRP inseridos em entalhes verticais (100 mm de espaçamento)
VACI-15		24 laminados de CFRP inseridos em entalhes inclinados a 45° (150 mm de espaçamento)
VB10		-
VBE-15		Estribos de aço verticais (6φ6, 2r *, 150 mm de espaçamento)
VBM-8	4 φ10 (tração)	Mantas de CFRP coladas externamente (forma de U, fibras orientadas a 90°, 10 faixas de 2 camadas com 25 mm de largura e 80 mm de espaçamento)
VBCV-10		16 laminados de CFRP inseridos em entalhes verticais (100 mm de espaçamento)
VBCI-15		12 laminados de CFRP inseridos em entalhes inclinados a 45° (150 mm de espaçamento)
Série B		
VB12		-
VBE-7.5		Estribos de aço verticais (10φ6, 2r *, 75 mm de espaçamento)
VBM-4	4 φ12 (tração)	Mantas de CFRP coladas externamente (forma de U, fibras orientadas a 90°, 16 faixas de 2 camadas com 25 mm de largura e 40 mm de espaçamento)
VBCV-5		28 laminados de CFRP inseridos em entalhes verticais (50 mm de espaçamento)
VBCI-7.5		24 laminados de CFRP inseridos em entalhes inclinados a 45° (75 mm de espaçamento)

* 2r - estribos de dois ramos.

Tabela 2 - Características do betão e do aço.

Betão	Vigas	28 dias de idade		Data do ensaio das vigas	
	Série A		$f_{cm} = 37.6$ MPa (C30/37) *		$f_{cm} = 49.2$ MPa (227 dias)
Série B		$f_{cm} = 49.5$ MPa (C40/50) *		$f_{cm} = 56.2$ MPa (105 dias)	
Aço	Vigas	φ6 (longitudinal)	φ6 (transversal)	φ10	φ12
	Série A	$f_{sym} = 622$ MPa	$f_{sym} = 540$ MPa	$f_{sym} = 464$ MPa	$f_{sym} = 574$ MPa
		$f_{sum} = 702$ MPa	$f_{sum} = 694$ MPa	$f_{sum} = 581$ MPa	$f_{sum} = 672$ MPa
	Série B	$f_{sym} = 618$ MPa	$f_{sym} = 540$ MPa	$f_{sym} = 464$ MPa	$f_{sym} = 571$ MPa
$f_{sum} = 691$ MPa		$f_{sum} = 694$ MPa	$f_{sum} = 581$ MPa	$f_{sum} = 673$ MPa	

* Classe de resistência do betão segundo a NP-ENV-206.

Os valores médios das propriedades mecânicas mais significativas dos betões e dos aços utilizados, obtidos experimentalmente, estão indicados na Tabela 2. Neste trabalho foram utilizados dois sistemas compósitos de CFRP unidireccionais, a manta flexível *curada "in situ"* (390 GPa de módulo de elasticidade, 3000 MPa de resistência à tração e 8.0‰ de extensão última) e o laminado semi-rígido *pré-fabricado* (150 GPa de módulo de elasticidade, 2200 MPa de resistência à tração e 14.0‰ de extensão última). As características dos reforços referidas anteriormente foram obtidas das fichas técnicas disponibilizadas pelo fornecedor [6]. Em relação aos laminados de CFRP foram efectuados ensaios experimentais tendo-se obtido, em termos médios, 166 GPa de módulo de elasticidade, 2286 MPa de resistência à tração e 13.0‰ de extensão última. A aplicação dos sistemas de reforços de CFRP utilizados (colagem externa de mantas e inserção de laminados) encontra-se detalhadamente descrita em [3].

Na Figura 1 apresentam-se, a título de exemplo, as curvas correspondentes à relação entre a carga total e o deslocamento central das vigas VA10, VAE-30, VAM-19, VACV-20 e VACI-30 (ver Tabela 1). Na Tabela 3 apresentam-se, para os modelos referidos, os valores registados para a carga total máxima. Atribuindo as designações $F_{max,VA10}$ e $F_{max,VAE-30}$ à força máxima registada na viga sem qualquer armadura de resistência ao esforço transversal e na viga reforçada somente com estribos, respectivamente, determinaram-se os factores $F_{max}/F_{max,VA10}$ e $F_{max}/F_{max,VAE-30}$ indicados na Tabela 3 (F_{max} é a força máxima registada em qualquer viga). Designando por $\delta_p,VA10$ e $\delta_p,VAE-30$ os deslocamentos correspondentes a $0.95F_{max,VA10}$ e $0.95F_{max,VAE-30}$ (ver exemplo da obtenção deste deslocamento na Figura 2) determinaram-se os factores $\delta_p/\delta_p,VA10$ e $\delta_p/\delta_p,VAE-30$ incluídos na Tabela 3 (em qualquer viga, δ_p é o deslocamento correspondente a $0.95F_{max}$ após δ_{Fmax}). O mesmo tipo de análise foi efectuado para os restantes grupos de vigas (ver Tabela 3).

De um modo geral verifica-se que a participação dos CFRP (mantas e laminados) proporcionou um aumento significativo da capacidade máxima de carga das vigas de referência (sem reforço ao corte). O melhor desempenho dos laminados inseridos em entalhes efectuados no betão de recobrimento, em relação às mantas de CFRP coladas externamente, foi evidente em termos de carga máxima e em termos de capacidade deformacional da viga na sua rotura. Nas conclusões deste trabalho apresenta-se, resumidamente, uma análise aos resultados obtidos.

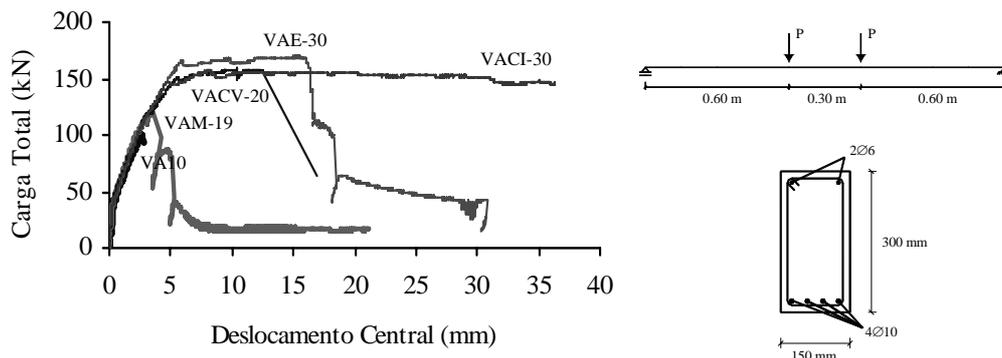


Figura 1 - Curvas carga total vs deslocamento central das vigas da série A (4Ø10 longitudinais).

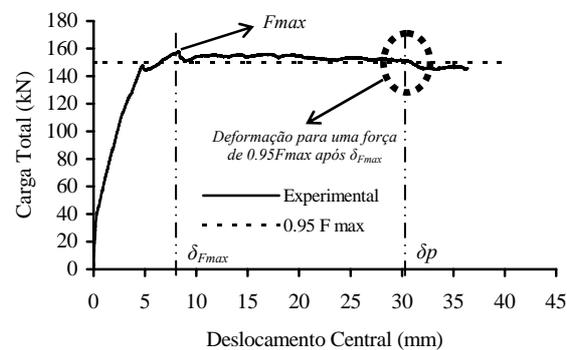


Figura 2 - Deslocamento para uma carga de $0.95F_{max}$ após δ_{Fmax} .

Tabela 3 - Principais resultados dos ensaios das vigas ensaiadas.

Vigas (Série A: 4φ10)	Reforço ao corte	F_{max}^* [kN]	$F_{max}/F_{max,VA10}$	$F_{max}/F_{max,VAE-30}$	δ_p [mm]	$\delta_p/\delta_{p,VA10}$	$\delta_p/\delta_{p,VAE-30}$
VA10	-	100.40	1.00	0.59	2.80	1.00	0.17
VAE-30	Estribos	169.35	1.69	1.00	16.25	5.80	1.00
VAM-19	Manta	122.06	1.22	0.72	3.75	1.34	0.23
VACV-20	Laminados verticais	158.64	1.58	0.94	12.86	4.59	0.79
VACI-30	Laminados inclinados	157.90	1.57	0.93	30.96	11.06	1.91
Vigas (Série A: 4φ12)	Reforço ao corte	F_{max} [kN]	$F_{max}/F_{max,VA12}$	$F_{max}/F_{max,VAE-15}$	δ_p [mm]	$\delta_p/\delta_{p,VA12}$	$\delta_p/\delta_{p,VAE-15}$
VA12	-	116.50	1.00	0.54	2.74	1.00	0.43
VAE-15	Estribos	215.04	1.85	1.00	6.34	2.31	1.00
VAM-9.5	Manta	179.54	1.54	0.83	4.91	1.79	0.77
VACV-10	Laminados verticais	235.11	2.02	1.09	6.70	2.45	1.06
VACI-15	Laminados inclinados	262.38	2.25	1.22	11.75	4.29	1.85
Vigas (Série B: 4φ10)	Reforço ao corte	F_{max} [kN]	$F_{max}/F_{max,VB10}$	$F_{max}/F_{max,VBE-15}$	δ_p [mm]	$\delta_p/\delta_{p,VB10}$	$\delta_p/\delta_{p,VBE-15}$
VB10	-	74.02	1.00	0.61	2.00	1.00	0.23
VBE-15	Estribos	120.64	1.63	1.00	8.53	4.27	1.00
VBM-8	Manta	111.14	1.50	0.92	4.40	2.20	0.52
VBCV-10	Laminados verticais	131.22	1.77	1.09	6.83	3.42	0.80
VBCI-15	Laminados inclinados	120.44	1.63	1.00	4.27	2.14	0.50
Vigas (Série B: 4φ12)	Reforço ao corte	F_{max} [kN]	$F_{max}/F_{max,VB12}$	$F_{max}/F_{max,VBE-7.5}$	δ_p [mm]	$\delta_p/\delta_{p,VB12}$	$\delta_p/\delta_{p,VBE-7.5}$
VB12	-	75.7	1.00	0.48	2.03	1.00	0.40
VBE-7.5	Estribos	159.1	2.10	1.00	5.09	2.51	1.00
VBM-4	Manta	143.0	1.89	0.90	3.52	1.73	0.69
VBCV-5	Laminados verticais	139.2	1.84	0.87	4.44	2.19	0.87
VBCI-7.5	Laminados inclinados	148.5	1.96	0.93	4.92	2.42	0.97

* $F_{max} = 2P$ (Ver Figura 1).

3. DESEMPENHO DAS FORMULAÇÕES ANALÍTICAS

Os valores experimentais da contribuição dos CFRP no reforço ao corte de vigas de betão armado obtidos no programa experimental descrito na secção anterior serão comparados, de seguida, com os valores obtidos utilizando formulações analíticas propostas pelo *ACI* [7] e pela *fib* [8], para o caso do reforço por colagem externa de mantas de CFRP. Em relação às vigas reforçadas por inserção de laminados de CFRP, os valores experimentais da contribuição dos CFRP no reforço ao corte serão comparados com os determinados segundo as expressões propostas por De Lorenzis [9] para o caso de reforço com varões de CFRP. Para tal, a formulação de De Lorenzis foi adaptada de forma a se ter em conta o facto de que na técnica aplicada no presente trabalho, em vez de varões de CFRP, se ter utilizado faixas de laminado de CFRP. Todas as formulações enunciadas encontram-se descritas em [1] e [3].

A análise comparativa anteriormente referida será efectuada com base nos valores das propriedades mecânicas dos CFRP fornecidos pelo fabricante (valores característicos). No caso do reforço com laminados, para além da análise com os valores do fabricante, também será realizada a análise com os valores das suas propriedades mecânicas obtidos experimentalmente no âmbito deste trabalho.

Na Figura 3 ilustram-se as diferenças das propostas do *ACI* e da *fib* na quantificação do contributo dos CFRP para a resistência ao corte das vigas de betão armado reforçadas por colagem externa de mantas. A análise da Figura 3 permite constatar que as formulações analíticas utilizadas conduzem, de um modo geral, a valores mais elevados que os verificados experimentalmente. As diferenças entre os valores obtidos pelas propostas do *ACI* e da *fib* não são significativas. Por último, refira-se que o valor muito elevado da relação entre o resultado analítico e o experimental do modelo VAM-19 (em comparação com o verificado nos restantes modelos) pode ter origem numa eventual deficiente aplicação do reforço, tendo provocado o descolamento precoce da faixa de manta que, pelo seu posicionamento, seria a mais activada pela fenda de corte.

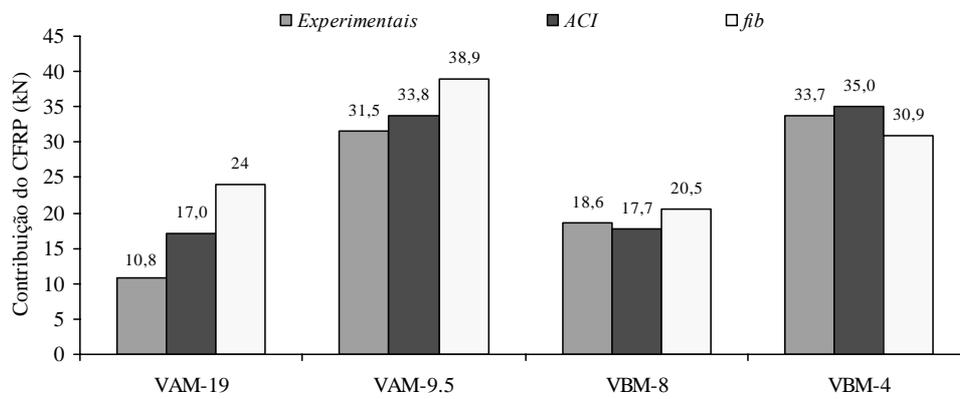


Figura 3 - Comparação das propostas do *ACI* e da *fib* (colagem externa de mantas).

Tabela 4 - Comparação de resultados experimentais vs analíticos (inserção de laminados).

Vigas	Série	Experimentais	Analíticos	$V_{fd}^{ana.} / V_f^{exp.*}$
		$V_f^{exp.}$ [kN]	$V_{fd}^{ana.} *$ [kN]	
VACV-20	A (4φ10)	29.1	10.6 (10.6)	0.36 (0.36)
VACI-30	A (4φ10)	28.8	11.8 (13.0)	0.41 (0.45)
VACV-10	A (4φ12)	59.3	16.2 (17.9)	0.27 (0.30)
VACI-15	A (4φ12)	72.9	20.9 (23.2)	0.29 (0.32)
VBCI-15	B (4φ10)	23.2	7.1 (7.1)	0.31 (0.31)
VBCV-5	B (4φ12)	31.8	10.2 (10.2)	0.32 (0.32)
VBCI-7.5	B (4φ12)	36.4	16.9 (18.2)	0.46 (0.50)

* Os valores entre parêntesis foram determinados considerando as propriedades mecânicas dos laminados obtidas experimentalmente no âmbito do presente trabalho.

Na Tabela 4 apresentam-se, para os modelos reforçados ao corte com laminados de CFRP, os resultados experimentais e os analíticos do contributo do CFRP na resistência ao corte, bem como a relação entre eles. Refira-se que as expressões propostas por De Lorenzis [10] não permitem quantificar analiticamente o valor da contribuição do reforço de CFRP na resistência ao corte da viga VBCV-10. A análise da Tabela 4 permite verificar que o factor $V_{fd}^{ana.} / V_f^{exp.}$ varia entre 0.27 e 0.46. A consideração dos valores das propriedades do CFRP registados nos

ensaios experimentais efectuados no âmbito do presente trabalho conduziu, em alguns modelos, a uma ligeira alteração do valor de V_{fd}^{ana} . (ligeiro aumento).

4. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos no programa de ensaios efectuado com modelos de vigas podem ser avançadas as conclusões seguintes:

- a utilização de compósitos de CFRP como elementos resistentes ao esforço transversal, colados externamente (mantas) ou inseridos no betão de recobrimento (laminados), permite aumentar significativamente a capacidade máxima de carga de vigas de betão armado com rotura por corte;
- de entre as técnicas de reforço ao corte com CFRP, a que permitiu maior incremento da carga máxima foi a baseada na inserção de laminados em entalhes efectuados no betão de recobrimento das faces laterais das vigas. Tendo por base o comportamento registado nos modelos não reforçados, verificou-se que a capacidade de carga máxima dos modelos reforçados com faixas de manta e com laminados inseridos aumentou, em média, 54% e 83%, respectivamente;
- de entre as técnicas de reforço ao corte com CFRP, a que permitiu maior incremento de capacidade deformacional das vigas foi a baseada na inserção de laminados em entalhes efectuados no betão de recobrimento das faces laterais das vigas. Tendo por base o comportamento registado nos modelos não reforçados, verificou-se que a capacidade deformacional dos modelos reforçados com faixas de manta e com laminados inseridos aumentou, em média, 77% e 307%, respectivamente;
- as vigas reforçadas com faixas de laminado apresentaram carga máxima e capacidade deformacional semelhantes aos registados nas vigas estribadas. Tendo por base os resultados obtidos nos modelos não reforçados, verificou-se que os modelos reforçados com estribos de aço e com laminados de CFRP apresentaram um aumento médio da carga máxima de 82% e 83%, respectivamente. Tendo por base os resultados obtidos nos modelos não reforçados, verificou-se que os modelos reforçados com estribos de aço e com laminados inseridos apresentaram uma capacidade deformacional, respectivamente, 272% e 307% superior;
- após a carga de pico, as vigas reforçadas com laminados inseridos apresentaram uma capacidade de carga residual superior ao registado nas restantes vigas;
- aumentando a altura da viga, os laminados de CFRP inseridos em entalhes inclinados a 45° tornam-se mais eficazes que os laminados inseridos em entalhes verticais;
- os modos de rotura das vigas reforçadas ao esforço transversal com laminados de CFRP inseridos no betão de recobrimento são menos frágeis que os verificados nas vigas reforçadas com mantas de CFRP coladas externamente;
- quando comparada com a técnica que recorre à colagem externa de mantas de CFRP, a que se baseia na inserção de laminados de CFRP no betão de recobrimento é mais fácil e rápida de executar, pelo que mais económica. Além disto, este sistema de reforço fica mais protegido da acção do fogo, das condições ambientais e de actos de vandalismo.

Da análise comparativa entre os resultados experimentais e os obtidos segundo a aplicação de formulações analíticas aos modelos ensaiados verificou-se que:

- as propostas do “American Concrete Institute” (ACI) e da “Fédération Internationale du Béton” (fib), para o dimensionamento de reforços ao corte por colagem externa de compósitos de CFRP, foram aplicadas aos modelos experimentais reforçados ao corte com o sistema *curado “in situ”* (mantas). As referidas propostas conduzem a valores superiores

aos resultados obtidos experimentalmente: 2% no caso do *ACI* e 8% no caso da *fib* (nestes valores não se consideraram os dados da viga VAM-19 pelas razões já apontadas);

- a formulação analítica proposta por De Lorenzis, para a avaliação da contribuição ao reforço ao corte de varões de CFRP inseridos, foi aplicada aos modelos experimentais reforçados com laminados de CFRP inseridos em entalhes efectuados no betão de recobrimento, tendo-se verificado que os resultados experimentais foram, em termos médios, 2.9 vezes superiores aos analíticos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam os seus agradecimentos à colaboração prestada pela empresa UNIBETÃO (Central de Braga) na betonagem dos modelos e pelas empresas BeTTor MBT Portugal e S&P Reinforcement pela prestabilidade e fornecimento dos sistemas compósitos de reforço. Ao CEMACON (INEGI) agradece-se a colaboração prestada nos ensaios de tracção uniaxial com provetes de laminado de CFRP. Um agradecimento especial ao Miguel Freitas, finalista da licenciatura em Engenharia Civil da Universidade do Minho, pela colaboração na campanha de ensaios levada a cabo para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Dias, S.J.E. e Barros, J.A.O., 2004, “*Materiais Compósitos no Reforço ao Corte de Vigas de Betão Armado*”, Relatório Técnico 04-DEC/E-03, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Fevereiro, 74 pp.
- [2] De Lorenzis, L. e Nanni, A., 2001, “*Shear strengthening of reinforced concrete beams with-near surface mounted fiber-reinforced polymer rods*”, ACI Structural Journal, Vol. 98, nº 1, January-February, pp. 60-68.
- [3] Dias, S.J.E. e Barros, J.A.O., 2004, “*CFRP no reforço ao corte de vigas de betão armado: investigação experimental e modelos analíticos*”, Relatório Técnico 04-DEC/E-08, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Maio, 109 pp.
- [4] Barros, J.A.O., Sena-Cruz, J.M., Dias, S.J.E., Ferreira, D.R.S.M. e Fortes, A. S., 2003, “*Investigação no âmbito da utilização de materiais compósitos no reforço de estruturas de betão*”, Vº Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, São Paulo, Brasil.
- [5] Sena-Cruz, J. e Barros, J., 2002, “*Caracterização experimental da ligação de laminados de CFRP inseridos no betão de recobrimento*”, Relatório Técnico 02-DEC/E-15, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Setembro, 54 pp.
- [6] BeTTor MBT Portugal, 1999, “*Sistema Compósito MBrace*” - Fichas técnicas, Lisboa.
- [7] ACI Committee 440, 2002, “*Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures*”, American Concrete Institute, Reported by ACI Committee 440, Maio, 118 pp.
- [8] *fib* - Bulletin 14, 2001, “*Externally bonded FRP reinforcement for RC structures*”, technical report by Task Group 9.3 FRP (Fiber Reinforced Polymer) reinforcement for concrete structures, Fédération Internationale du Béton - *fib*, July, 130 pp.
- [9] De Lorenzis, Laura, 2002, “*Strengthening of RC Structures with Near-Surface Mounted FRP rods*”, PH. D. Dissertation of Civil Engineering, Università Degli Studi di Lecce, Italy, May, 289 pp.