

ELEMENTOS DE PILAR DE BETÃO ARMADO CONFINADOS COM SISTEMAS DE CFRP SUBMETIDOS A CARREGAMENTO CÍCLICO DE COMPRESSÃO



Débora Ferreira
Aluna de
Doutoramento
U. Minho
debora@ipb.pt



Joaquim Barros
Professor Associado
U. Minho
barros@civil.uminho.pt

SUMÁRIO

Para avaliar a influência do carregamento cíclico de compressão no comportamento de provetes de betão armado confinados com sistemas discretos e contínuos em manta de CFRP, efectuou-se um programa experimental constituído por ensaios cíclicos e monotónicos de compressão directa. A influência dos ciclos de carga/descarga na evolução da rigidez da resposta tensão-extensão e na extensão nos sistemas de confinamento em CFRP foi investigada. O programa experimental é descrito, e os resultados obtidos são apresentados e analisados.

Palavras-chave: Betão, CFRP, confinamento discreto e contínuo.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a vulnerabilidade sísmica dos edifícios é um tema que vem merecendo preocupação crescente, dada a natureza catastrófica que tem uma ocorrência sísmica de elevada amplitude, quer em termos de dimensão humana como material. Acresce a isto o facto de ser ainda significativo o número de estruturas que, por diversos motivos, se comportarão deficientemente se solicitadas por um evento sísmico de moderada-elevada intensidade. Uma das estratégias possíveis para diminuir o impacto humano e material da ocorrência deste tipo de eventos, passa por reforçar as zonas críticas deste tipo estruturas. Podendo, de forma simplificada, considerar-se a acção sísmica como de carácter cíclica, e sendo os pilares

elementos fulcrais na garantia da estabilidade global de uma estrutura porticada de betão armado, será de todo oportuno explorarem-se os benefícios proporcionados por sistemas de reforço que aumentem a capacidade de absorção de energia deste tipo de elementos, quando submetidos a acções cíclicas. Sendo a acção cíclica horizontal a que merece especial cuidado, dado introduzirem esforços de flexão e corte, é no entanto também importante avaliar a eficácia de sistemas de reforço no comportamento de elementos de pilar submetidos a acções cíclicas de compressão. Neste caso, importa que os sistemas de reforço aumentem o confinamento do betão dos pilares e evitem a encurvaduras nas armaduras longitudinais.

Nos últimos anos têm sido estudados sistemas de confinamento constituídos por manta de fibra de carbono (CFRP) [1, 2] envolvendo toda a superfície exterior do elemento ou apenas certas partes deste, tirando, neste último caso, partido da existência de cintas metálicas que, por si só, já proporcionam algum confinamento ao betão e resistência à encurvadura das armaduras longitudinais. Ao primeiro sistema atribuiu-se a designação de “sistema de confinamento contínuo”, enquanto ao segundo sistema, constituído por faixas de manta de CFRP, foi dada a designação de “sistema de confinamento discreto”. Nesses trabalhos os elementos de pilar foram submetidos a carga axial de compressão monotonicamente crescente, tendo-se constatado que uma percentagem de confinamento de CFRP da ordem dos 0.44%, permitiu triplicar a resistência à compressão de elementos homólogos não confinados. Os resultados obtidos nesses ensaios evidenciaram que o nível de tensão instalada no sistema de confinamento e, conseqüentemente, a eficiência do sistema de confinamento, dependia da maior ou menor tendência para o betão expandir. De facto, constatou-se que betões de resistência mais elevada introduziam níveis de confinamento mais intensos, dado que estes betões apresentam maior expansibilidade volumétrica após o início da fendilhação do betão.

Para avaliar a influência do carregamento cíclico de compressão no comportamento de provetes de betão armado confinados com sistemas discretos e contínuo em manta de CFRP, efectuou-se um programa experimental constituído por uma série de ensaios monotónicos e cíclicos com 14 provetes cilíndricos com 600 mm de altura e 200 mm de diâmetro, em betão de 30 MPa de resistência à compressão aos 28 dias, armados com varões longitudinais $\phi 8$ e confinados com manta tipo CF120 S&P 240 (200 gm/m²). A influência dos ciclos de carga/descarga na evolução da rigidez da resposta tensão-extensão e na extensão nos sistemas de confinamento em CFRP foi investigada. No presente trabalho o programa experimental é descrito, e os principais resultados obtidos são apresentados e analisados.

2. SÉRIES DE ENSAIOS E SISTEMAS DE CONFINAMENTO

Na fase inicial do projecto de investigação em que este trabalho se insere foram efectuados séries de ensaios no sentido de serem seleccionados sistemas de confinamento discreto, cujo desempenho em termos de aumento de capacidade de carga última e de absorção de energia, bem como de custo de aplicação, pudessem competir com os sistemas de confinamento contínuo [3, 4]. Com base nos resultados obtidos foram seleccionados, para o presente programa experimental, os sistemas de confinamento representados no Quadro 1. A cada provete foi atribuída a designação $W_i L_k c/m$, em que W_i é a largura da faixa com $i = 45, 60$ e

600 mm e L_k é o número de camadas por faixa com k igual a 3 e 5. Para distinguir os ensaios cíclicos dos monotónicos foi atribuído aos ensaios cíclicos a letra c e aos ensaios monotónicos a letra m . Para cada série de ensaios (W/Lk) ensaiaram-se dois provetes, um a compressão monotónica e outro a compressão cíclica. Os procedimentos relativos ao confinamento dos provetes estão apresentados, com detalhe, em outro trabalho [4].

Neste trabalho foi utilizada manta flexível de fibras de carbono curada “in situ”, designada comercialmente por CF120 S&P 240 de 200 gramas de fibra por m^2 de manta com uma espessura de 0.113 mm, resistência à tracção 3500 MPa, módulo de elasticidade segundo a direcção das fibras de 232 GPa e extensão última próxima de 15%. Os valores das propriedades da manta de CFRP foram determinados segundo as recomendações da norma ISO TC 71/SC 6 N [5].

Quadro 1: Características das séries de ensaios

Designação do provete ($W/Lk_c/m$)	Tipo de ensaio	W [mm]	L	Sistema de confinamento	
W45L3_c	Cíclico	45	3		
W45L3_m	Monotónico		5		
W45L5_c	Cíclico	5			
W45L5_m	Monotónico	3			
W60L3_c	Cíclico	60	3		
W60L3_m	Monotónico		5		
W60L5_c	Cíclico	5			
W60L5_m	Monotónico	3			
W600L3_c	Cíclico	600	3		
W600L3_m	Monotónico		3		

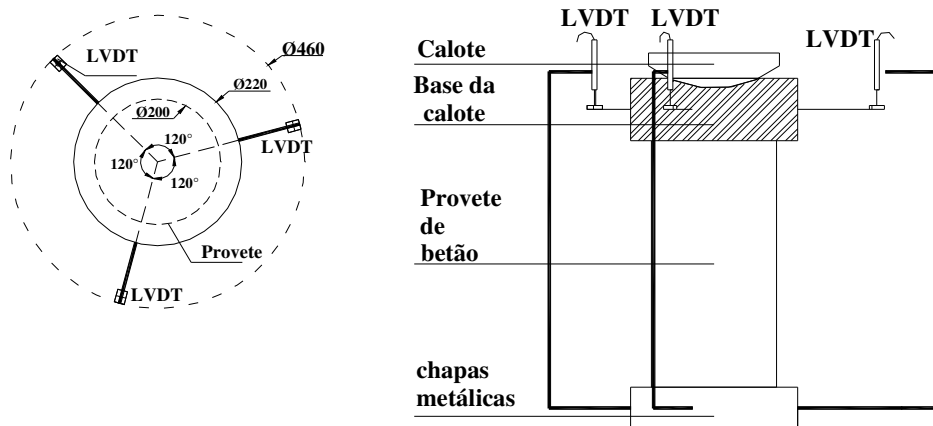


Figura 1: Posição dos LVDTs utilizados para avaliar a extensão axial do provete



Figura 2: Sistemas de confinamento adoptados

3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO E MONITORIZAÇÃO

Os ensaios cíclicos e monotónicos de compressão directa foram ensaiados numa prensa servo-controlada que permite efectuar ensaios em malha fechada até uma carga máxima de cerca de 2250 kN. A extensão axial do provete foi determinada por intermédio de três LVDTs de ± 12.5 mm de campo, dispostos segundo o esquema representado na Figura 1. Para determinar as extensões ocorridas nas faixas de manta de CFRP, foi aplicado um extensómetro eléctrico por faixa, ver Quadro 1. Os extensómetros foram colados na face exterior da camada mais externa (última camada aplicada), no sentido das fibras. Na Figura 2 são apresentadas fotos dos sistemas de confinamento aplicados.

Os provetes sujeitos a carregamento cíclicos foram ensaiados sob controlo de força à velocidade de 15 kN/s, de acordo com a história de carga representada na Figura 3. O último procedimento de ensaio é constituído por uma rampa sob controlo de deslocamento até à rotura do provete.

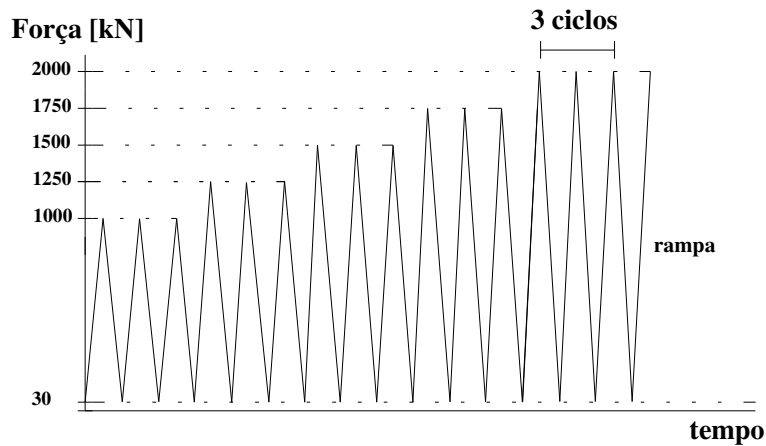


Figura 3: Carregamento cíclico utilizado nos ensaios.

Os provetes sujeitos a carregamento monotónico foram ensaiados sob controlo de deslocamentos, à velocidade de 5 $\mu\text{m/s}$, utilizando-se para tal o deslocamento lido num LVDT de 20 mm de campo e 0.05% de linearidade. O ensaio terminava quando o limite máximo do cursor do LVDT de controlo era atingido. Os ensaios foram efectuados tendo os provetes cerca de 40 dias de idade.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os principais indicadores de eficácia registados nos ensaios cíclicos e monotónicos à compressão directa estão indicados no Quadro 2, onde f_{cc} é a tensão máxima de compressão, ϵ_{cc} é a extensão axial correspondente a f_{cc} , ϵ_{fmax} é a extensão máxima no CFRP registada em cada um dos extensómetros (SG - ver Quadro 1). A variação de W e L conduziu a provetes com diferente percentagem confinamento ($\rho_f = A_f/A_{c,t}$), em que $A_f = 2 \times S \times W \times L \times e$ mm^2 é a secção transversal da manta de CFRP utilizada no sistema de confinamento, e é a espessura efectiva da manta (0.113 mm) e S é o número de faixas de CFRP ao longo do provete. A secção longitudinal do provete, $A_{c,t}$, é igual a 200×600 mm^2 (200 mm de largura por 600 mm de altura).

Quadro 2 – Valores dos indicadores de eficácia registados nos ensaios efectuados

Designação do provete	ρ_f [%]	f_{cc} (MPa)	ϵ_{cc}	ϵ_{fmax}					
				SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6
Betão simples_c	-	29.10	0.003	-	-	-	-	-	-
Betão simples_m	-	30.36	0.003	-	-	-	-	-	-
Betão simples_φ8_c	-	27.50	0.002	-	-	-	-	-	-
Betão simples_φ8_m	-	27.38	0.004	-	-	-	-	-	-
W45L3_c	0.15	44.40	0.018	0.006	0.010	0.012	0.010	0.011	0.007
W45L3_m		40.97	0.015	0.006	0.007	0.009	0.006	0.005	0.003
W45L5_c	0.25	50.74	0.024	0.006	0.009	0.009	0.007	0.005	0.003
W45L5_m		54.14	0.025	0.009	0.004	0.007	0.008	0.009	0.006
W60L3_c	0.20	48.84	0.019	0.004	0.005	-	0.005	0.007	-
W60L3_m		51.83	0.019	0.011	0.010	0.009	0.007	-	0.004
W60L5_c	0.34	55.64	0.020	0.010	0.006	0.005	0.003		0.005
W60L5_m		66.27	0.028	-	0.004	0.009	0.009	0.01	0.008
W600L3_c	0.34	73.70	0.025	0.010	0.008	0.005	0.006	-	0.009
W600L3_m		58.01	0.014	-	0.006	0.005	0.006	0.005	-

Da análise dos valores apresentados no Quadro 2, verifica-se:

- que os sistemas de confinamento proporcionaram aumentos significativos de capacidade de carga (f_{cc}). Tomando como base de referência os valores de f_{cc} registados nos provetes armados não confinados (f_{cc}^{Ref}), constata-se que $f_{cc}^{conf} / f_{cc}^{Ref}$ variou de 1.5 para $\rho_f=0.15$ até 2.7 para $\rho_f=0.34$, representando f_{cc}^{conf} a tensão máxima nos provetes confinados. Constata-se ainda que se for excluído o resultado obtido no ensaio cíclico em provete com confinamento contínuo ($\rho_f=0.34$), existe uma tendência de aumento linear de $f_{cc}^{conf} / f_{cc}^{Ref}$ com ρ_f , quer nos provetes submetidos a carregamento monotónico como cíclico. O maior aumento registado neste caso indicia que o confinamento contínuo é mais eficaz que o discreto quando os elementos de pilar de betão armado são submetidos a carregamentos cíclicos. A existência de volume de betão não confinado entre as faixas de manta de CFRP permite que durante os sucessivos carregamentos cíclicos ocorra uma concentração de dano nestas zonas, o que não acontece nos sistemas de confinamento contínuo, o que justifica o menor desempenho dos sistemas de confinamento discreto quando comparado com o dos sistemas de confinamento contínuo, em provetes submetidos a carregamento cíclico. Esta diferença de eficácia não foi visível nos provetes submetidos a carregamento monotónico, apesar de resultados obtidos em programas de investigação anteriores [1-4] indicarem que, à luz do critério $f_{cc}^{conf} / f_{cc}^{Ref}$, o confinamento contínuo é mais eficaz que o confinamento parcial, sendo este último, no entanto, mais rápido de executar, para a mesma percentagem de CFRP, pelo que mais económico [4];
- em termos do parâmetro do índice de ductilidade ($\epsilon_{cc}^{conf} / \epsilon_{cc}^{Ref}$) verifica-se que aumenta com a percentagem de confinamento, tendo-se registado valores de 7 a 10, quando se toma por base os valores obtidos nos elementos de betão armado não confinados (ϵ_{cc}^{Ref});

- de uma maneira geral, as extensões axiais mais elevadas foram registadas nos extensómetros colocados nas cintas superiores onde se verificou a rotura do CFRP. Comportamento similar foi registado em trabalhos de outros investigadores [6,7].

Na Figura 4 apresentam-se as curvas que relacionam a tensão com a extensão axial nos provetes ensaiados com carregamento cíclico (WILK_c) e monotónico (WILK_m), confinados com faixas de 45, 60 e 600 mm de altura. A tensão é o cociente entre a força aplicada e a área da secção transversal do provete. A extensão é a média registada nos três LVDTs a dividir pela altura inicial do provete.

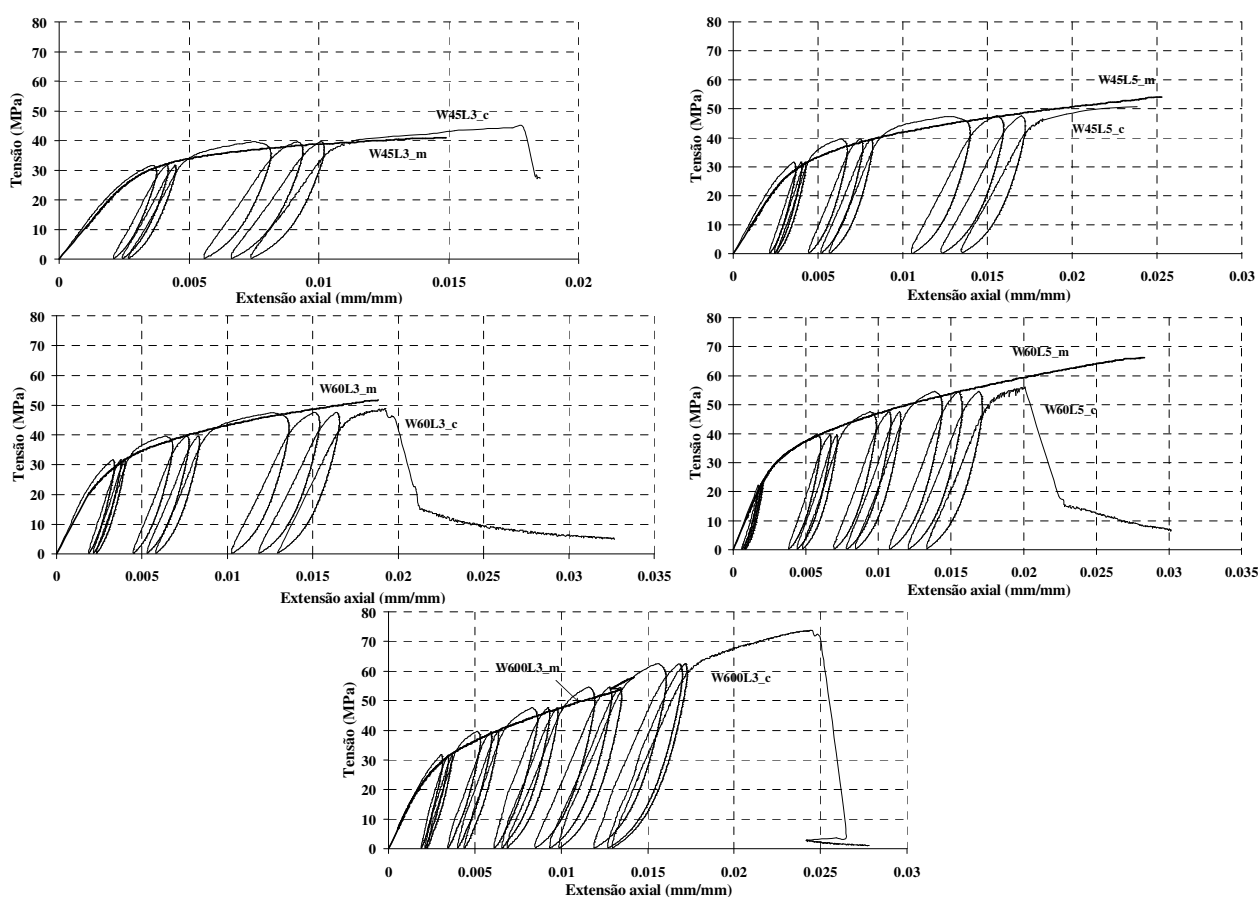


Figura 4: Curvas tensão versus extensão axial

Da observação das curvas tensão versus extensão axial das diferentes séries é possível concluir que, em geral, a curva monotónica pode-se considerar como sendo a envolvente da resposta cíclica. No entanto, constata-se que no terceiro dos três ciclos que constitui cada série de ciclos a capacidade de carga do provete supera a registada no seu homólogo submetido a carregamento monotónico. Tal deve estar relacionado com o facto de que, durante o

carregamento cíclico, devido à acumulação de deformação plástica do betão, o sistema de confinamento em CFRP sofre acréscimos de extensão entre ciclos subsequentes, resultando um aumento de confinamento do betão com o conseqüente aumento da capacidade de carga do provete.

Da análise da configuração dos ciclos de descarga/recarga da relação tensão-extensão axial constata-se que o ramo de descarga é eminentemente não linear, enquanto o ramo de recarga apresenta nas extremidades dois pequenos trechos não lineares ligados por um ramo linear. Para avaliar a evolução da rigidez das fases de descarga e de recarga, no presente trabalho admitiu-se que ambas estas fases podem ser modeladas por tramos rectilíneos, tal como esquematizado na Figura 5 (r para o ramo de recarga e d para o ramo de descarga).

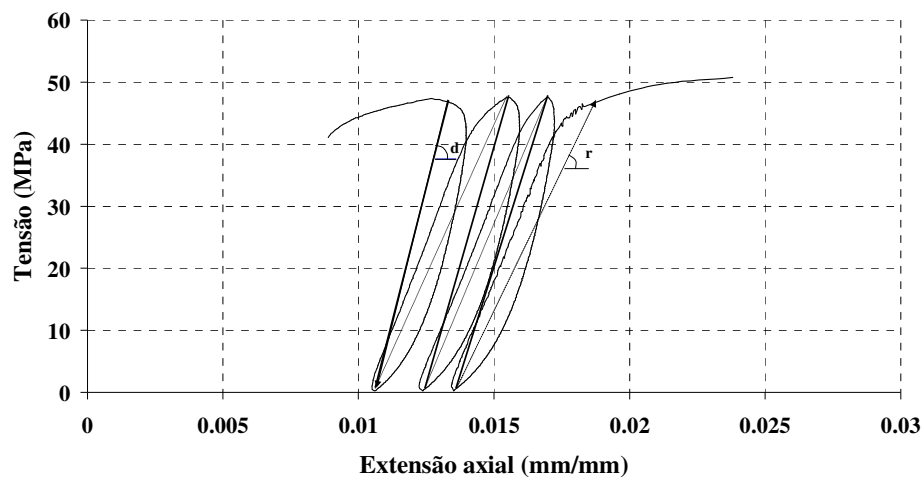


Figura 5: Modulo de deformabilidade para cada 3 ciclos de recarga e descarga

Na Figura 6 representa-se a evolução da rigidez das fases de descarga e de recarga nos provetes ensaiados. Da análise destes gráficos constata-se que a rigidez de descarga é maior do que em recarga. Entre cíclicos correspondentes à mesma amplitude de carga verifica-se que a rigidez de descarga diminui e que essa diminuição acentua-se ao longo do processo de carregamento do provete. Tal deve-se ao acréscimo de deformação plástica do betão com o acréscimo de extensão axial aplicado ao provete. A tendência para o decréscimo de rigidez de descarga diminui com o aumento da extensão axial do provete, podendo essa tendência ser aproximada por uma lei do tipo exponencial (ver Figura 6e). Quanto à evolução da rigidez dos ramos de recarga verifica-se também haver uma tendência para o seu decréscimo com o aumento da extensão axial do provete, não sendo, no entanto, tão acentuada como o verificado na rigidez dos ramos de descarga. Entre ciclos de mesma amplitude de carga verifica-se haver uma tendência para um aumento ligeiro da rigidez de recarga, justificável pelo acréscimo de tensão no CFRP entre estes ciclos (ver por momentos a Figura 10), que tem como consequência aumentar o confinamento do betão.

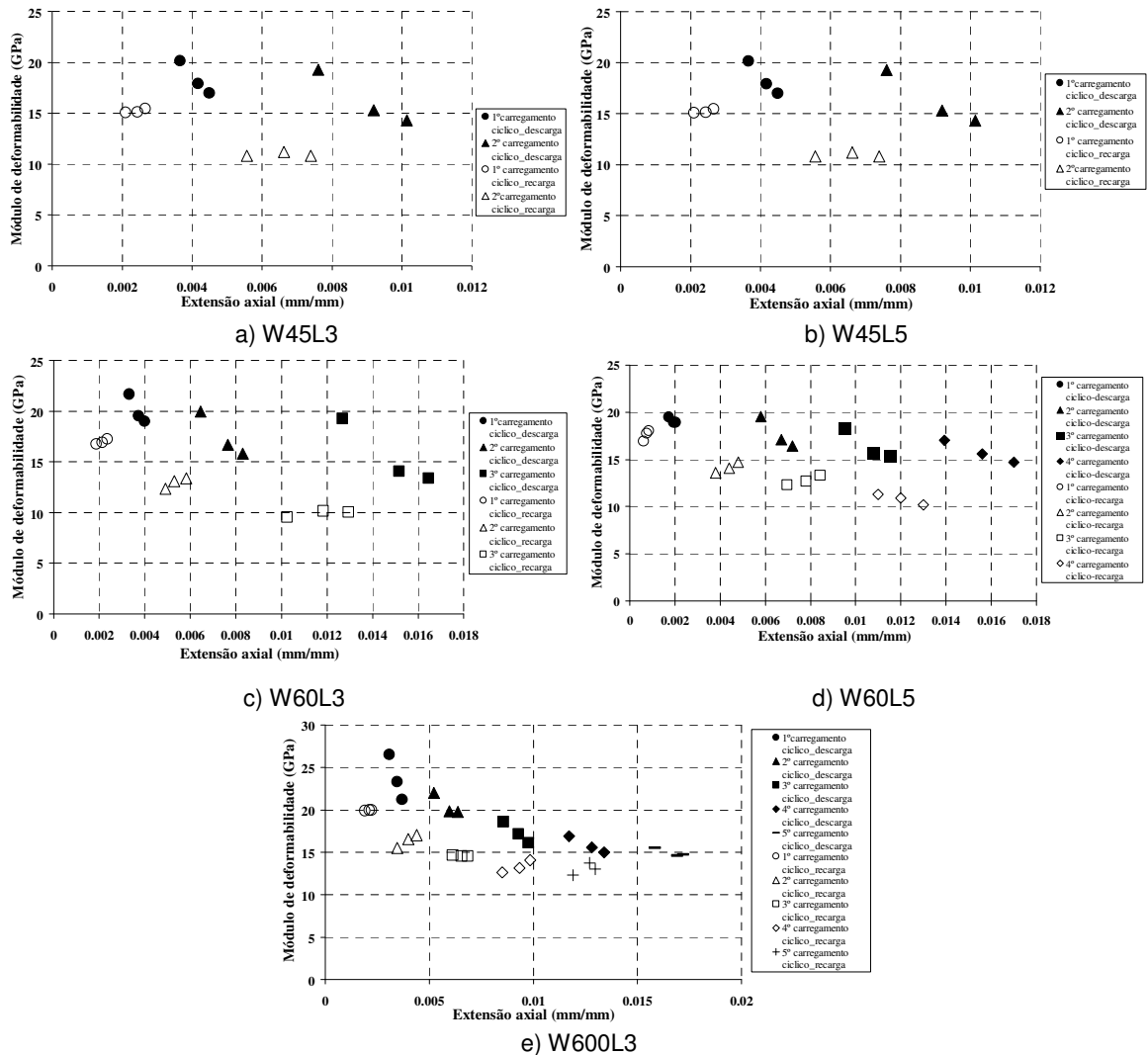


Figura 6: Evolução da rigidez dos ramos de descarga e recarga registada nos ensaios cíclicos

Na Figura 7 representam-se as curvas que relacionam a tensão, quer com a extensão axial do provete, quer com a extensão na manta de CFRP (na direcção das fibras), para a série parcialmente confinada W60L5 e para a série totalmente confinada W600L3. De modo a tornar legível a figura, optou-se por apenas representar a curva referente ao extensómetro 2, por ser na zona onde este extensómetro foi colocado que normalmente ocorreram as roturas do CFRP (ver Figura 9). Apesar de ambas as séries terem a mesma percentagem de confinamento (ver Quadro 2) verifica-se que o sistema de confinamento contínuo permitiu maior capacidade de carga. No entanto, tal só é significativa para extensões axiais do provete superiores a cerca de 10%. Além disto deve ser tido em conta o maior custo de aplicação do sistema contínuo, pois requer o tratamento de toda a superfície do provete, enquanto que os sistemas discretos só

exigem o tratamento das áreas onde são instaladas as faixas de CFRP. A rigidez dos ramos de descarga e recarga parecem ser bastante similar em ambos os provetes. No que se refere à extensão máxima no CFRP ela foi maior no provete com sistema de confinamento discreto, apesar do provete com este sistema ter tido menor capacidade de carga. No entanto, dada a maior concentração de tensões nas faixas de CFRP (efeito de arco interno) era expectável a ocorrência, pelo menos para um mesmo nível de tensão axial, maiores extensões nos sistemas discretos do que nos sistemas contínuos.

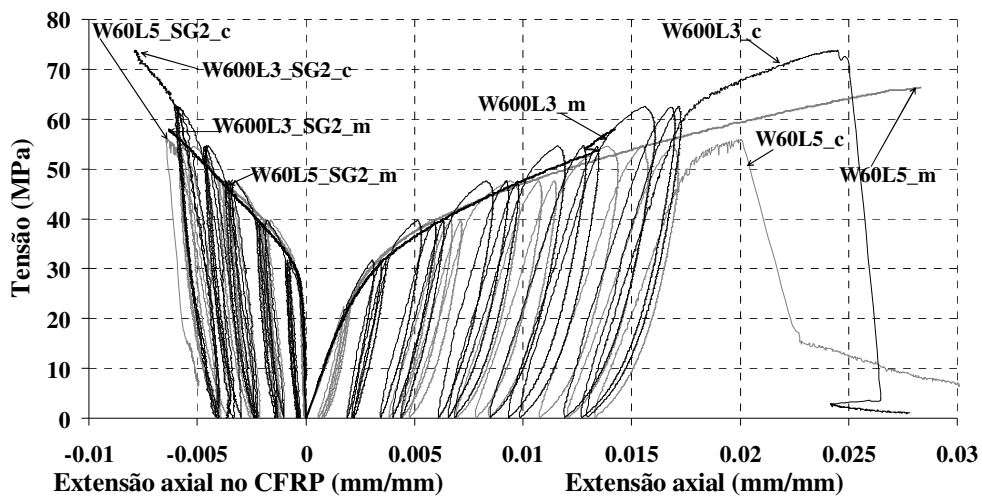


Figura 7: Curvas tensão versus extensão axial e extensão no CFRP nas séries com mesma percentagem de confinamento: W60L5 e W600L3.

Na figura 8 apresentam-se os modos de rotura dos provetes com sistemas de confinamento discretos e contínuos, de igual percentagem, quer para os provetes submetidos a carregamento monotónico como cíclico. Tal como nos restantes provetes ensaiados, a rotura destes provetes deu-se de forma violenta, por rotura da manta. A rotura é tão mais violenta quanto menor for o volume de betão não confinado entre faixas de CFRP, dado que a deformação plástica do betão destas zonas contribui para diminuir a violência da rotura típica de materiais de elevado módulo, elevada rigidez e comportamento linear-elástico, como é o caso das mantas utilizadas no presente trabalho.

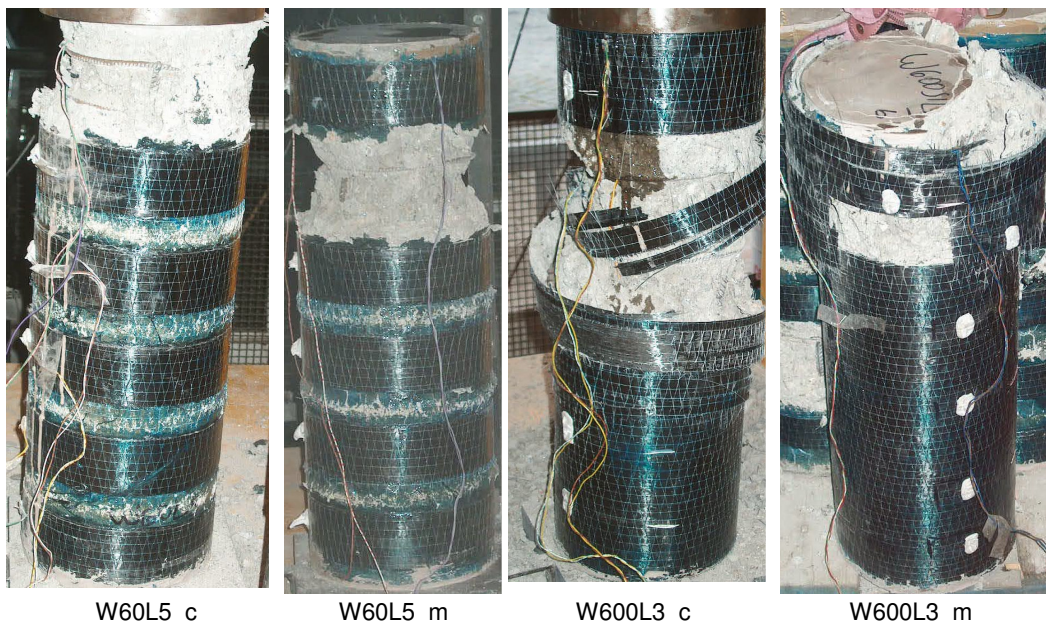
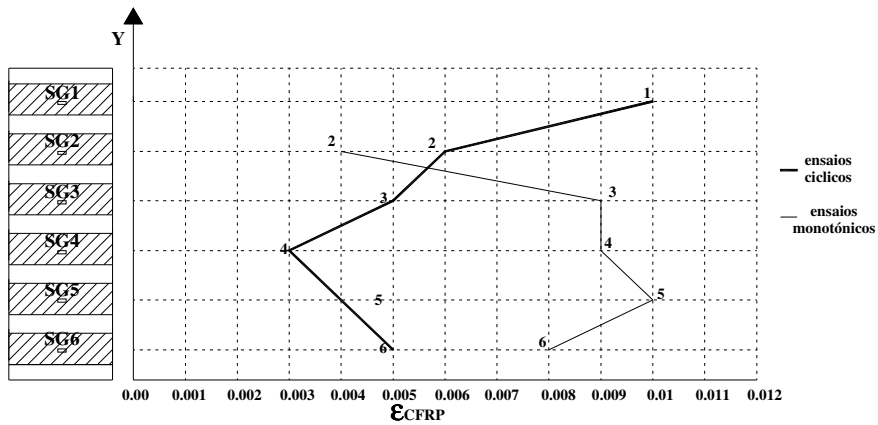


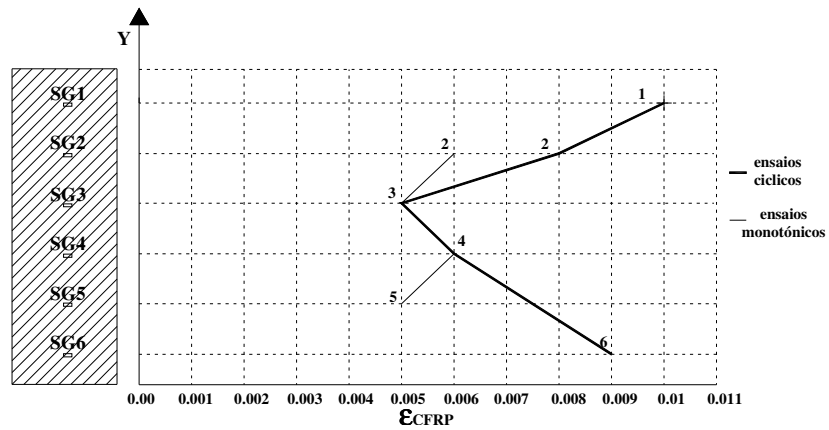
Figura 8: Modos de rotura dos provetes com igual percentagem de confinamento.

Na Figura 9 apresentam-se as extensões registadas nos extensómetros aplicados nos provetes W60L5 e W600L3, para um nível de carga próximo da rotura destes provetes. Enquanto no ensaio cíclico do provete W60L5 a extensão registada foi máxima na faixa superior, da ordem dos 10‰, e mínima na zona central, cerca de 3‰, no ensaio monotónico a extensão máxima ocorreu na zona inferior do provete, próximo de 10‰, e a mínima foi de 4‰ na parte superior. Por sua vez, nos provetes W600L3, principalmente no provete com carregamento cíclico, as extensões foram máximas nas extremidades do provete. No provete W600L3 submetido a carregamento monotónico os extensómetros das faixas de extremidade danificaram-se durante o ensaio, pelo que não se dispõe de registos para estas faixas.

Apesar de se ter registado uma tendência para a ocorrência da rotura no terço superior dos provetes, a impossibilidade de localizar previamente os locais de rotura não possibilita afirmar que as extensões registadas nos extensómetros sejam as máximas instaladas no CFRP. Assim, os valores registados nos extensómetros representam tão apenas as extensões instaladas nesses locais, pelo que as conclusões retiradas com base nestes valores têm que ser enquadradas neste tipo de limitação do sistema de monitorização utilizado para este efeito. No entanto, se para a tensão axial for determinada a correspondente média das extensões registadas nos extensómetros aplicados no provete obtém-se um tipo de gráfico similar aos representados na Figura 10. Estes gráficos reproduzem estas relações para os ensaios monotónicos e cíclicos dos provetes com mesma percentagem de confinamento: W60L5 e W600L3. Verifica-se que a evolução da rigidez em descarga e recarga dos sucessivos cíclicos é similar à observada na relação entre a tensão axial versus extensão axial do provete (Figura 4)

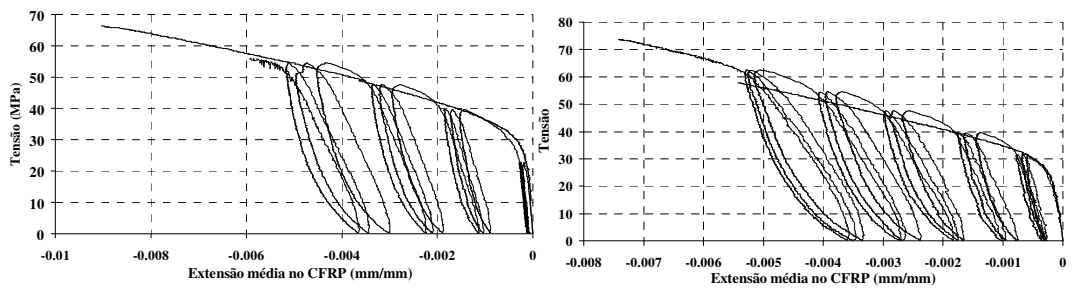


a) W60L5



b) W600L3

Figura 9: Extensões últimas no CFRP dos provetes: a) W60L5; b) W600L3



a) W60L5

b) W600L3

Figura 10: Tensão versus extensão média no CFRP nos ensaios cíclicos e monotônicos dos provetes: a) W60L5; b) W600L3

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho investigou-se o comportamento de provetes de betão armado confinados com sistemas discretos e contínuos de manta de CFRP submetidos a ensaios cíclicos e monotónicos de compressão directa. Foi analisada a influência dos ciclos de carga/descarga na evolução da rigidez da resposta tensão-extensão e na capacidade de carga do provete entre ciclos consecutivos.

Os sistemas de confinamento proporcionaram aumentos significativos de capacidade de carga (f_{cc}). Tomando como base de referência os valores registados nos provetes armados não confinados (f_{cc}^{Ref}), constata-se que $f_{cc}^{conf} / f_{cc}^{Ref}$ variou de 1.5 para $\rho_f=0.15$ até 2.7 para $\rho_f=0.34$, representando f_{cc}^{conf} a tensão máxima nos provetes confinados.

De uma maneira geral, as extensões axiais mais elevadas foram registadas nos extensómetros colocados nas cintas superiores onde se verificou a rotura do CFRP. Em termos do parâmetro do índice de ductilidade ($\epsilon_{cc}^{conf} / \epsilon_{cc}^{Ref}$) verifica-se que aumenta com a percentagem de confinamento, tendo-se registado valores de 7 a 10, quando se toma por base os valores obtidos nos elementos de betão armado não confinados (ϵ_{cc}^{Ref}).

Comparando para a mesma percentagem de confinamento, o sistema de confinamento discreto (W60L5) com o sistema de confinamento contínuo (W600L3), verifica-se que o sistema de confinamento contínuo permitiu maior capacidade de carga. No entanto, tal só é significativa para extensões axiais do provete superiores a cerca de 10%. Além disto deve ser tido em conta o maior custo de aplicação do sistema contínuo, pois requer o tratamento de toda a superfície do provete, enquanto que os sistemas discretos só exigem o tratamento das áreas onde são instaladas as faixas de CFRP.

Da observação das curvas tensão versus extensão axial das diferentes séries é possível concluir que, em geral, a curva monotónica pode-se considerar como sendo a envolvente da resposta cíclica.

Em relação a evolução da rigidez das fases de descarga e de recarga nos provetes ensaiados constata-se que a rigidez de descarga é maior do que em recarga. Entre cíclicos correspondentes à mesma amplitude de carga verifica-se que a rigidez de descarga diminui. Tal deve-se ao acréscimo de deformação plástica do betão com o acréscimo de extensão axial aplicado ao provete. Quanto à evolução da rigidez dos ramos de recarga verifica-se também haver uma tendência para o seu decréscimo com o aumento da extensão axial do provete. Entre ciclos de mesma amplitude de carga verifica-se haver uma tendência para um aumento ligeiro da rigidez de recarga, justificável pelo acréscimo de tensão no CFRP entre estes ciclos que tem como consequência aumentar o confinamento do betão.

A rotura dos provetes deu-se de forma violenta, por rotura da manta. A rotura foi tão mais violenta quanto menor o volume de betão não confinado entre faixas de CFRP, dado que a deformação plástica do betão destas zonas contribui para diminuir a violência da rotura típica de materiais de elevado módulo, elevada rigidez e comportamento linear-elástico, como é o caso das mantas utilizadas no presente trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho agradecem a colaboração prestada pela empresa *degussa* Portugal e pela S&P Clever Reinforcement. O primeiro autor agradece o financiamento pelo PRODEP acção 5.3/N/199.014/01 da medida 5 de doutoramento.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Barros, J.A.O.; Ferreira, D.R.S.M., "An efficient confinement strategy with CFRP sheets to increase the energy absorption capacity of concrete columns", 1st US-Portugal International Workshop – Grand challenges in earthquake engineering, p. 13.1-13.8, Portugal, 11-14 July 2005.
- [2] Ferreira, D.R.S.M.; Barros, J.A.O., "Confinement efficacy of partially and fully wrapped CFRP systems in RC column prototypes", 2nd International fib Congress, Naples, June 5-8, Artigo 10-20 em CD, 2006.
- [3] Barros, J.A.O.; Ferreira, D.R.S.M. – "Partial versus full wrapping confinement systems for concrete columns", *International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR*, Cidade do Cabo, Africa do Sul, 2005, 418 p.
- [4] Ferreira, D.R.S.M., Barros, J.A.O. - "Confinamento por cintagem total e parcial de elementos de betão com mantas de fibras de carbono", Relatório Técnico No. 04-DEC/E-29, Departamento de Eng^a Civil da Universidade do Minho, 165 p, 2004. (www.civil.uminho.composites)
- [5] ISO TC 71/SC 6 N - "Non-conventional reinforcement of concrete-test methods-part 2: Fiber reinforced polymer (FRP) sheets", (2003).
- [6] Rodrigues, C.M.C. – "Comportamento às acções cíclicas de pilares de betão armado reforçados com materiais compósitos", *tese de doutoramento*, Universidade Nova de Lisboa, 2005, 427 p.
- [7] Carrazedo, R. – "Mecanismos de confinamento e suas implicações no reforço de pilares de concreto por encamisamento com compósito de fibras de carbono", *tese de mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2002, 208 p.