

CONFINAMENTO DE PROJETOS CILÍNDRICOS DE BETÃO COM MANTAS DE CFRP - CINTAGEM PARCIAL E TOTAL

Débora Ferreira¹; Joaquim Barros²

¹Prof. Adjunta, Escola Superior Tecnologia e Gestão, Inst. Pol. de Bragança, debora@ipt.pt

²Prof. Auxiliar, Univ. Minho, Esc. Eng^a, Dep. Eng^a Civil, barros@civil.uminho.pt

RESUMO: *Projetos cilíndricos de betão de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura foram cintados com faixas de manta de fibras de carbono com o objectivo de avaliar a influência da largura e número de faixas, e do número de camadas no aumento da resistência e da ductilidade do betão. Alguns dos resultados obtidos são apresentados e comentados.*

1 - INTRODUÇÃO

Os danos induzidos por acções sísmicas têm revelado que a deficiente ductilidade dos elementos de pilar é uma das causas subjacentes ao colapso destes elementos, (Xiao *et al.*, 1999). A ductilidade de elementos pode ser aumentada por intermédio da aplicação de reforço que eleve o grau de confinamento do betão, aumentando a sua resistência à compressão e a sua capacidade de absorção de energia. Este confinamento pode ser obtido colando mantas de fibras de vidro ou de carbono (FRP) à superfície exterior do elemento a reforçar, (Seible *et al.*, 1997, Mirmiran e Shahawy, 1997; Xiao e Wu, 2000; Untiveros, 2002). Apesar do êxito alcançado pela aplicação de sistemas confinamento com mantas de FRP em modelos laboratoriais, protótipos e aplicações in situ, a investigação sobre o mecanismo de interacção entre o reforço e o betão é ainda limitada, (Mirmiran e Shahawy, 1997), assim como os resultados disponíveis para a elaboração de modelos de análise e dimensionamento.

O presente trabalho pretende dar um contributo para o aumento do conhecimento nesta área. Para tal, foram efectuadas séries de ensaios de compressão uniaxial com projetos cilíndricos cintados com diferentes arranjos de faixas de manta de fibras de carbono (CFRP). A influência da largura destas faixas, do seu número ao longo da altura do projeto e do número de camadas por faixa, no comportamento à compressão uniaxial foi analisada. Os principais resultados obtidos são apresentados e analisados.

2 - SISTEMA DE CONFINAMENTO

A Figura 1 ilustra o sistema de confinamento adoptado. Este sistema é composto por faixas de manta de fibras de carbono (CFRP), fixas ao betão e às camadas subjacentes por intermédio de resina epoxi. Na presente campanha pretendeu-se avaliar a influência da largura das faixas (W), do seu número ao longo da altura do projeto (S) e do número de camadas em cada faixa (L), no comportamento em compressão do projeto. Para tal, foram efectuadas as séries de ensaios indicadas na Tabela 1. Cada série era constituída por três projetos. A variação de W , S e L conduziu a projetos com diferente percentagem confinamento ($\rho_f = A_f / A_{c,t} \times 100$), em que $A_f = 2 \times S \times W \times L \times 0.167 \text{ mm}^2$ é a secção transversal do sistema de confinamento (segundo o fornecedor, a manta de CFRP tem 0.167mm de espessura) e $A_{c,t} = 150 \times 300 \text{ mm}^2$ é

a secção longitudinal do provete (150 mm de largura por 300 mm de altura). Assim, tendo em conta os valores de ρ_f e a melhoria de propriedades proporcionada por cada sistema de confinamento pretende-se concluir da importância relativa de W , S e L para o aumento da resistência e da ductilidade do betão, sendo esta última representada pela área sob a curva tensão-extensão até determinada extensão. Cada provete é designado por $WiSjLk$, em que i é a largura da faixa (15, 30, 45, 60 e 300 mm), j é o número de faixas ao longo do provete (1 a 5) e k é o número de camadas por faixa (1 a 7). Na tabela 1 t é o espaço de betão livre entre cintas.



Figura 1 - Esquema de confinamento e fotos de alguns dos sistemas de confinamento adoptados

Tabela 1 – Series de ensaios (ver Figura 1)

| W [mm] | S [-] | t [mm] | L [-] | A_f [mm ³] | ρ_f [%] | Designação do provete |
|--------|-------|--------|-------|--------------------------|--------------|-----------------------|
| 15 | 1 | - | 1 | 5.01 | 1.11E-02 | W15S1L1 |
| | | | 2 | 10.02 | 2.23E-02 | W15S1L2 |
| | | | 3 | 15.03 | 3.34E-02 | W15S1L3 |
| | | | 4 | 20.04 | 4.45E-02 | W15S1L4 |
| | | | 6 | 30.06 | 6.68E-02 | W15S1L6 |
| | | | 6 | 30.06 | 6.68E-02 | W15S1L6 |
| | 3 | 85 | 1 | 15.03 | 3.34E-02 | W15S3L1 |
| | | | 2 | 30.06 | 6.68E-02 | W15S3L2 |
| | | | 3 | 45.09 | 1.00E-01 | W15S3L3 |
| | | | 4 | 60.12 | 1.34E-01 | W15S3L4 |
| | | | 6 | 90.18 | 2.00E-01 | W15S3L6 |
| | | | 6 | 90.18 | 2.00E-01 | W15S3L6 |
| 5 | 45 | 1 | 25.05 | 5.57E-02 | W15S5L1 | |
| | | 2 | 50.1 | 1.11E-01 | W15S5L2 | |
| | | 3 | 75.15 | 1.67E-01 | W15S5L3 | |
| | | 4 | 100.2 | 2.23E-01 | W15S5L4 | |
| | | 6 | 150.3 | 3.34E-01 | W15S5L6 | |
| | | 6 | 150.3 | 3.34E-01 | W15S5L6 | |
| 30 | 3 | 70 | 3 | 90.18 | 2.00E-01 | W30S3L3 |
| | | | 5 | 150.3 | 3.34E-01 | W30S3L5 |
| | | | 7 | 210.42 | 4.68E-01 | W30S3L7 |
| | 4 | 45 | 3 | 120.24 | 2.67E-01 | W30S4L3 |
| | | | 5 | 200.4 | 4.45E-01 | W30S4L5 |
| | | | 7 | 280.56 | 6.23E-01 | W30S4L7 |
| 45 | 4 | 30 | 3 | 180.36 | 4.01E-01 | W45S4L3 |
| | | | 5 | 300.6 | 6.68E-01 | W45S4L5 |
| | | | 7 | 420.84 | 9.35E-01 | W45S4L7 |
| 60 | 3 | 40 | 3 | 180.36 | 4.01E-01 | W60S3L3 |
| | | | 5 | 300.6 | 6.68E-01 | W60S3L5 |
| | | | 7 | 420.84 | 9.35E-01 | W60F3L7 |
| 300 | 1 | - | 3 | 300.6 | 6.68E-01 | W300S1L3 |
| | | | 5 | 501 | 1.11E+00 | W300S1L5 |
| | | | 7 | 701.4 | 1.56E+00 | W300S1L7 |

3 - Propriedades dos materiais e aplicação do sistema de confinamento

3.1 - Betão

A Tabela 2 inclui a composição do betão utilizado na fabricação dos provetes ensaiados. Ensaios de compressão efectuados aos 28 dias com provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura indicaram tratar-se de um betão com 23 MPa de resistência média (desvio padrão de 1.8 MPa num universo de 3 provetes).

Tabela 2 – Composição do betão dos provetes cilíndricos (kg/m³)

| Cimento Secil 32.5 II | Brita grossa | Brita média | Areia | Água |
|-----------------------|--------------|-------------|--------|--------|
| 350.0 | 725.93 | 438.23 | 694.59 | 155.83 |

3.2 - Mantas de CFRP

Neste trabalho foi utilizada manta flexível de fibras de carbono curada “in situ”, designada comercialmente por MBrace Manta C1-30 que, segundo o fornecedor, tem espessura de 0.167 mm, resistência à tracção superior a 3700 MPa, módulo de elasticidade segundo a direcção das fibras de 240 GPa e extensão última próxima de 15 %. A manta MBrace é fornecida em rolos de 50 m de comprimento por 0.3 m de largura.

Para tratamento da superfície foi aplicado um primário designado por Mbrace Primário, transparente e de baixa viscosidade que, segundo o fornecedor, desenvolve 12MPa de resistência à tracção.

O saturante aplicado era constituído por uma resina epoxi de alto conteúdo de sólidos e de fácil aplicação para aderência e colocação de mantas à base de fibras de carbono. Segundo o fabricante, esta resina apresenta valores de resistência à tracção da ordem dos 54 MPa.

3.3 - Técnica de confinamento

As fases essenciais que constituem a técnica de confinamento utilizada estão ilustradas nas figuras 2 a 6. A primeira fase consistiu na preparação da superfície do provete nas zonas onde as faixas de tecido iam ser fixadas, tendo-se procedido ao esmerilamento dessas zonas, por forma a retirar a goma de cimento. Em seguida, os cilindros eram limpos com jactos de ar comprimido, por forma a retirar as poeiras que se tivessem depositado. Na segunda fase, as zonas onde as faixas de tecido iriam ser fixadas, eram limpas com álcool, seguida da aplicação do primário. Passados aproximadamente trinta minutos, iniciava-se a terceira fase que era constituída pela aplicação de resina epoxi nas zonas de fixação das faixas de manta, tendo-se utilizado uma brocha, e tido o cuidado necessário de forma a ser garantida uma distribuição uniforme da resina. Colocando as faixas sobre uma superfície lisa e plana, estas eram de seguida impregnadas com resina epoxi. Com a ajuda de um rolo, a faixa era aplicada sobre o provete, tendo havido o cuidado de evitar a formação de vazios entre as faixas de manta e o provete. Após 30 minutos, a segunda camada de resina era aplicada, seguida da aplicação da segunda faixa de manta. Este último procedimento era repetido para cada uma das camadas de manta. Sobre a última camada de manta foi aplicada uma demão de resina epoxi.

As faixas de manta de CFRP aplicadas tinham um comprimento total igual ao perímetro do cilindro mais o comprimento de entrega. As faixas foram colocadas por forma a que os comprimentos de entrega fossem desencontrados (ver figura 7) e assim garantir a todas as séries ensaiadas similares condições de ancoragem das faixas de manta.



Figura 2 – Esmerilamento do provete nas zonas de fixação das faixas.



Figura 3 – Aplicação do primário nas zonas de fixação das faixas.



Figura 4 – Aplicação da resina nas zonas de fixação das faixas.



Figura 5 – Aplicação da resina nas faixas de manta.



Figura 6 – Aplicação das faixas de manta.

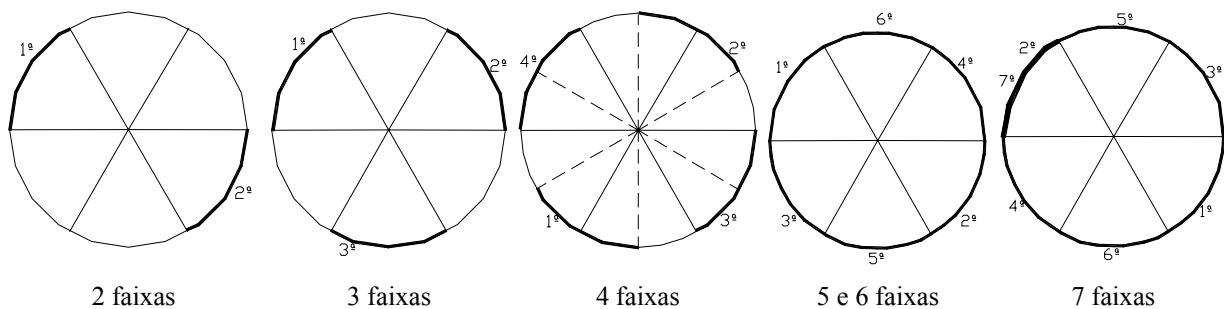


Figura 7 – Disposição do comprimento de entrega das faixas de manta de carbono.

4 - EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Os ensaios de compressão foram efectuados numa prensa de 2000 kN de capacidade máxima de carga, controlada por um servo-mecanismo. 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 8. Estes LVDTs mediram os deslocamentos entre os pratos da prensa, tendo a extensão sido obtida dividindo o deslocamento ocorrido no eixo do provete pela altura do provete. Os ensaios foram efectuados sob controlo de deslocamentos, tendo-se para tal utilizado um LVDT de ± 5 mm de campo. Para determinar as extensões ocorridas nas faixas de manta de CFRP, foram utilizados extensómetros de 120Ω de resistência e 5 mm de comprimento. Nos provetes com faixa de manta a meia altura do provete, apenas esta faixa era instrumentada com um extensómetro. Nos restantes casos foi colocado um extensómetro em duas faixas simetricamente dispostas em relação à meia altura do provete (ver Figura 9).

Os extensómetros foram colados na face exterior da camada mais externa (última camada aplicada), no sentido das fibras.

Para diminuir o efeito de confinamento no provete, induzido pelos pratos de aço da prensa, entre as extremidades do provete e os pratos da prensa foi colocado uma interface constituída por duas folhas de teflón de 0.1 mm de espessura, entre as quais foi aplicado óleo.

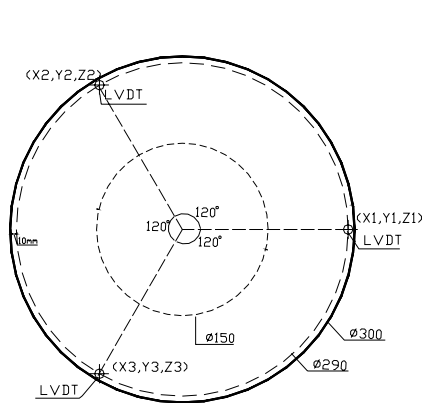


Figura 8 – Posição dos três LVDTs.

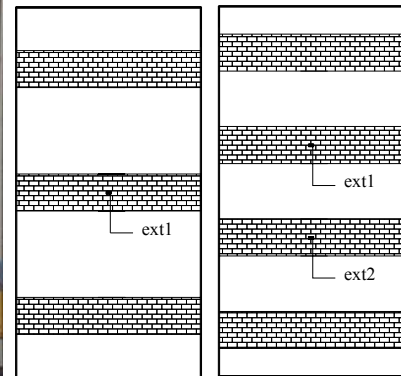
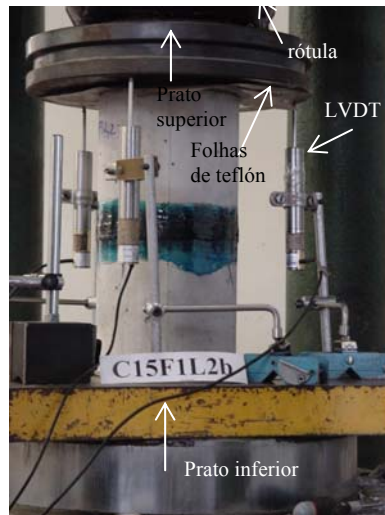


Figura 9 – Disposição dos extensómetros nos dois arranjos típicos de confinamento

5 - RESULTADOS

5.1 - Modos de rotura

Na figura 10a representa-se o modo de rotura dos provetes de betão simples (BS), enquanto na Figura 10b a 10h ilustram-se os modos de rotura típicos ocorridos nas séries com três camadas por cada faixa de manta de CFRP. Nos provetes de BS ocorreu a formação de fissuras verticais, no sentido da aplicação da carga. Nos provetes confinados com uma percentagem de reforço, ρ_f , superior a ≈ 0.2 e nos quais foi alcançada a sua carga de rotura, esta foi acompanhada pela rotura de, pelo menos, uma das faixas de manta. Em geral, nos provetes com $\rho_f > 0.4$ não foi possível alcançar a carga de rotura do provete, dado se ter atingido, ou o limite do campo de medida do LVDT de controlo, ou a capacidade máxima de carga da prensa. Em geral, nestes provetes nenhuma das suas faixas de manta rompeu. Nestes casos ocorreu elevada deformação transversal do betão entre as faixas.

Nos provetes em que faixas de manta romperam, a rotura foi violenta, precedida por estalidos relacionados com o rompimento de fibras. Nestes casos, a rotura era, geralmente, ortogonal à orientação das fibras. Após análise da face da camada de CFRP colada ao provete, verificou-se que uma fina camada de betão ficou ligada à manta, revelando ter ocorrido uma adequada ligação entre a manta e o betão. Nos provetes da série W300 (confinamento total do provete), à data do ensaio dos seus provetes verificou-se que a epoxi não tinha alcançado o grau de endurecimento esperado para o período de cura a que foi submetida, devido às baixas temperaturas registadas nesse período na sala onde os provetes ficaram acondicionados ($\approx 5^\circ$ C), pelo que o nível de confinamento obtido nesta série terá sido, eventualmente, inferior ao que seria obtido, caso as condições de cura tivessem sido iguais às das restantes séries.

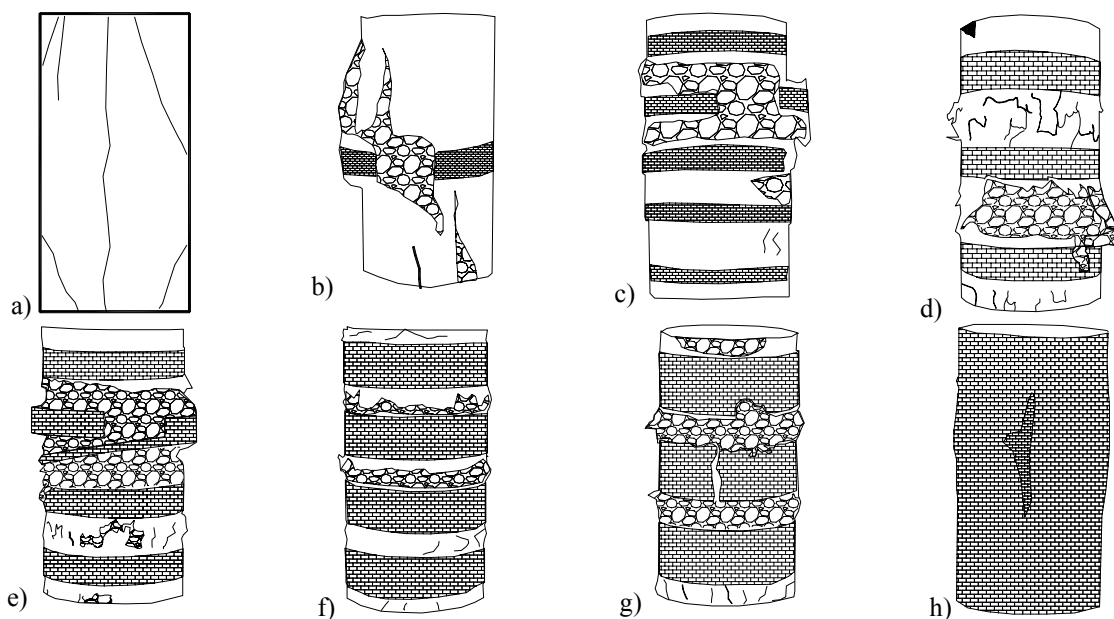


Figura 10 - Modos de rotura típicos nas séries: a) BS; b) W15S1L3; c) W15S5L3; d) W30S3L3; e) W30S4L3; f) W45S4L3; g) W60S3L3; h) W300S1L3.

5.2 - Apresentação e discussão dos resultados

Na Figura 11 representam-se as curvas que relacionam a tensão, quer com a extensão axial do provete, quer com a extensão na manta de CFRP (ao longo das fibras), nas séries W15S3, W30S3, W30S4, W45S4, W60S3 e W300S1. Cada uma das curvas representa a média das resposta registadas em três provetes. A tensão é o cociente entre a força aplicada no provete e a secção transversal deste. Nestes gráficos, às extensões axial e no CFRP foram atribuídos os sinais positivo e negativo, respectivamente, por facilidade de exposição gráfica dos resultados.

Os principais indicadores da eficácia dos sistemas de confinamento utilizados estão incluídos na Tabela 3, onde σ_{\max} é a tensão máxima (nos provetes de BS, σ_{\max} é a sua resistência média à compressão, f_{cm}), ε_{cp} é a extensão correspondente a f_{cm} , ε_{cfp} é a extensão correspondente a σ_{\max} (nos provetes de BS $\varepsilon_{cfp} = \varepsilon_{cp}$), $\varepsilon_{f\max}$ é a extensão máxima no CFRP e ε_{fu} é a extensão de rotura do CFRP.

Em geral a resposta até à tensão máxima nos provetes de BS não é significativamente alterada pela presença do confinamento. Após este valor, a capacidade de absorção de energia e a carga máxima são significativamente alterados, sendo esta alteração tão mais significativa quanto maior é a percentagem de reforço, ρ_f . Contudo, a largura das faixas ao longo da altura do provete, o número de faixas e o número de camadas têm um peso distinto no aumento da ductilidade e de resistência do provete, conforme se verificará.

Dos aspectos comuns a todas as séries ensaiadas constatou-se que, em termos gerais, a extensão no CFRP diminui com o aumento do número de camadas, a capacidade de carga e de absorção de energia aumentou com o número de camadas de CFRP, bem como a rigidez para extensões superiores a ε_c . No entanto, acima de cinco camadas este aumento começa a ser menos significativo.

Da análise dos gráficos da Figura 11a verifica-se que na série confinada com faixas de 15 mm de largura (W15) apenas se regista um ligeiro aumento da capacidade de absorção de energia com o aumento do número de camadas aplicadas em cada faixa. Em termos gerais, a extensão

máxima na faixa de manta aumentou com o número de camadas, tendo atingido o valor máximo de 10%. Para uma faixa a alteração do comportamento do BS foi marginal e para cinco faixas registou-se um aumento da capacidade de absorção de energia, mas a carga máxima manteve-se praticamente inalterada.

Nos provetes confinados com faixas de largura superior a 15 mm, além do aumento significativo da capacidade de absorção de energia, a carga máxima também aumentou. Assim, nos provetes confinados com três faixas de 30 mm de largura (W30S3) o aumento da capacidade de carga foi inferior a 33%, tendo a tensão máxima aumentado suavemente até à extensão axial de 30% (comportamento “pseudo-plástico”). Verificou-se que o aumento da capacidade de carga foi mais significativo na passagem de três para cinco camadas de CFRP do que no aumento de cinco para sete camadas. Por sua vez, as extensões no CFRP diminuíram com o aumento do número de camadas.

Nos provetes confinados com quatro faixas de 30 mm de largura (W30S4) verifica-se, não somente um aumento da capacidade de absorção de energia, mas também um aumento significativo da capacidade de carga. A rigidez da resposta deformacional, após a deformação de pico dos correspondentes provetes de BS, aumentou significativamente com o número de camadas de CFRP. O incremento de capacidade de carga foi de 45% e 70% para três e cinco camadas, respectivamente. As extensões nas faixas centrais dos provetes confinados com três camadas por faixa foram semelhantes, tendo alcançado um valor máximo próximo dos 8.0%, o que corresponde a aproximadamente 52% de ε_{fu} . Nos provetes com cinco camadas por faixa, a faixa logo acima do plano de simetria transversal do provete (ext1, ver Figura 9) foi submetida a extensões superiores às registadas na faixa logo abaixo daquele plano (ext2), devido à maior deformabilidade transversal ocorrida na parte superior dos provetes desta série (ver Figura 10e). Na faixa superior foi alcançada uma extensão máxima próxima de 65% de ε_{fu} . Por sua vez, a extensão axial máxima do provete foi aproximadamente sete vezes a extensão de pico do correspondente BS, quer na série com três camadas, como na série com cinco camadas).

Na série de provetes W45S4, i.e., nos provetes com quatro faixas de 45mm de largura registou-se um comportamento similar ao dos provetes da série W30S4. No entanto, a série W45S4 permite maiores aumentos de carga (84%, 133% e 135%, para 3, 5 e 7 camadas, respectivamente) e de absorção de energia. Acima de cinco camadas os benefícios são diminutos, quer em termos de capacidade de carga, como em termos de capacidade de absorção de energia. As extensões nos CFRP diminuíram com o número de camadas, tendo agora as extensões nas faixas acima e abaixo do plano de simetria transversal do provete, sido praticamente iguais nos provetes reforçados com cinco e sete camadas, enquanto nos provetes reforçados com três camadas, a extensão na faixa acima daquele plano voltou a ser superior às extensões registadas na faixa abaixo do referido plano. A extensão máxima no CFRP foi de $\approx 48\%$ de ε_{fu} .

As séries W45S4 e W60S3, apesar de terem o mesmo ρ_f , proporcionaram níveis diferentes de confinamento. Assim, em termos de aumento da capacidade de carga, foi mais elevado na série W45S4, revelando ser mais influente o número de faixas que a largura da faixa. No entanto, em termos de aumento de extensão máxima no CFRP, os maiores valores registaram-se na série W60S3.

Na séries em que os provetes foram envolvidos em toda a sua altura com manta de CFRP (W300S1) verifica-se que a partir de cinco camadas o acréscimo de carga e de capacidade de absorção de energia é marginal. O aumento da capacidade de carga foi de 127%, 162% e 172% para provetes com três, cinco e sete camadas por faixa, respectivamente. Tal como nas

anteriores séries, verificou-se uma diminuição da extensão máxima com o número de camadas de manta aplicadas.

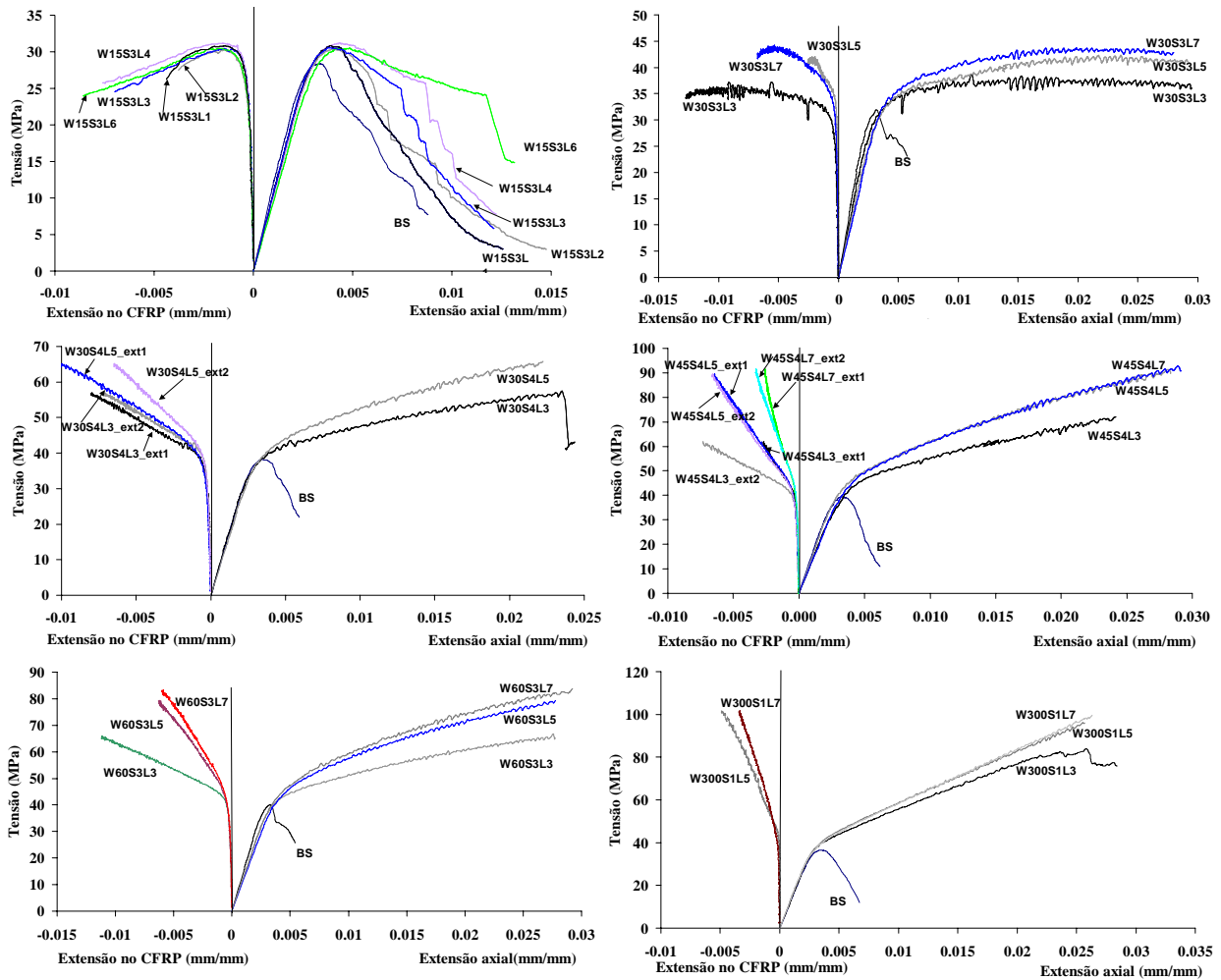


Figura 11 - Curvas tensão versus extensão axial e extensão no CFRP nas series: a) W15S3; b) W30S3; c) W30S4; d) W45S4; e) W60S3; f) W300S1.

6 - CONCLUSÕES

No presente trabalho é estudado o comportamento à compressão uniaxial de provetes cilíndricos betão confinados com faixas de manta de CFRP. Foi analisada a influência do número de faixas, da largura das faixas e do número de camadas de manta em cada faixa, no aumento da resistência, da capacidade de absorção de energia em compressão, bem como nos níveis de extensão máxima alcançados pelo CFRP.

Da análise dos resultados obtidos nos diferentes sistemas de confinamento utilizados permite concluir que a tensão máxima registada nos correspondentes provetes de betão simples (BS), i.e., não confinados, só foi ultrapassada nas séries com uma percentagem de confinamento superior a 0.17 ($\rho_f > 0.17$). Em todas as séries verificou-se um aumento da capacidade de carga e de absorção de energia com o aumento do número de camadas de CFRP por faixa. Porém, acima de cinco camadas o aumento não foi tão significativo como o registado até cinco camadas.

A influência da largura e do número de faixas no grau de confinamento alcançado está relacionada com o espaço livre de betão entre as faixas. Assim, em séries com a mesma percentagem de confinamento em CFRP verificou-se maiores aumentos de tensão máxima e

de energia absorvida nas que dispunham de menor espaço livre entre faixas. Tal deve-se ao facto de nestes espaços ocorrer grande concentração de dano no betão.

A extensão máxima na camada mais externa de manta de CFRP diminui com o aumento do número de camadas aplicadas nas faixas.

Tabela 3 - Principais indicadores da eficácia dos sistemas de confinamento

| Designação do provete | S | L | σ_{\max} (MPa) | σ_{\max}/f_c | ϵ_{cfp} ($\mu\text{m}/\text{m}$) | $\epsilon_{cfp}/\epsilon_{cp}$ | $\epsilon_{f\max}$ ($\mu\text{m}/\text{m}$) | $\epsilon_{f\max}/\epsilon_{fu}$ |
|------------------------------|---|---|--------------------------|---------------------|--|--------------------------------|--|----------------------------------|
| Betão simples | - | - | - | - | - | - | - | - |
| W15S1 | 1 | 1 | 27.46 | - | 3511 | - | - | - |
| | | 2 | 27.12 | - | 3488 | - | - | - |
| | | 3 | 26.48 | - | 3098 | - | - | - |
| | | 4 | 26.86 | - | 3347 | - | - | - |
| | | 6 | 28.68 | - | 3598 | - | - | - |
| Betão simples ($f_c=28.5$) | - | 0 | 28.5 (f_c) | 1.0 | 3298 (ϵ_{cp}) | 1.0 | - | - |
| W15S3 | 3 | 1 | 30.6 | 1.07 | 3975 | 1.20 | 4375.4 | 0.284 |
| | | 2 | 30.3 | 1.06 | 4228 | 1.28 | 3775.9 | 0.245 |
| | | 3 | 30.4 | 1.07 | 4038 | 1.22 | 6990.3 | 0.454 |
| | | 4 | 31.2 | 1.09 | 4358 | 1.32 | 7588.9 | 0.493 |
| | | 6 | 30.5 | 1.07 | 4982 | 1.51 | 8560.2 | 0.556 |
| Betão simples ($f_c=30.8$) | - | 0 | 30.8 (f_c) | 1.0 | 3922 (ϵ_{cp}) | 1.0 | - | - |
| W15S5 | 5 | 1 | 29.2 | 0.95 | 4040 | 1.03 | - | - |
| | | 2 | 29.8 | 0.97 | 4119 | 1.05 | - | - |
| | | 3 | 32.0 | 1.04 | 8685 | 2.21 | - | - |
| | | 4 | 34.0 | 1.10 | 9990 | 2.55 | - | - |
| | | 6 | 37.4 | 1.21 | 12062 | 3.08 | - | - |
| Betão simples ($f_c=32.7$) | - | 0 | 32.7 (f_c) | 1.0 | 3807 (ϵ_{cp}) | 1.0 | - | - |
| W30S3 | 3 | 3 | 38.85 | 1.19 | 11220 | 2.94 | 12706.2 | 0.825 |
| | | 5 | 42.04 | 1.28 | 23644 | 6.21 | 2485.3 | 0.161 |
| | | 7 | 43.46 | 1.33 | 24108 | 6.33 | 6748.1 | 0.438 |
| Betão simples ($f_c=38.8$) | - | 0 | 38.8 (f_c) | 1.0 | 3411 (ϵ_{cp}) | 1.0 | - | - |
| W30S4 | 4 | 3 | 57.48 | 1.48 | 23540 | 6.9 | Ext1- 7959.1 Ext2- 7159.1 | 0.517 0.465 |
| | | 5 | 65.76 | 1.70 | 22235 | 6.5 | Ext1- 10036 Ext2- 6493.5 | 0.652 0.422 |
| | | | | | | | | |
| Betão simples ($f_c=39.2$) | - | 0 | 39.2 (f_c) | 1.0 | 3339 (ϵ_{cp}) | 1.0 | - | - |
| W45S4 | 4 | 3 | 71.99 | 1.84 | 24182 | 7.24 | Ext1- 2686.6 Ext2- 7321.9 | 0.175 0.475 |
| | | 5 | 91.05 | 2.33 | 28239 | 8.45 | Ext1- 6491.0 Ext2- 6632.6 | 0.422 0.431 |
| | | 7 | 91.85 | 2.35 | 29030 | 8.69 | Ext1- 2573.5 Ext2- 3269.1 | 0.167 0.212 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Betão simples ($f_c=40.0$) | - | 0 | 40.0 (f_c) | 1.0 | 3323 (ϵ_{cp}) | 1.0 | - | - |
| W60S3 | 3 | 3 | 65.87 | 1.65 | 27640 | 8.32 | 11203.0 | 0.727 |
| | | 5 | 79.28 | 1.98 | 27778 | 8.36 | 6300.9 | 0.409 |
| | | 7 | 83.72 | 2.09 | 29243 | 8.80 | 6016.5 | 0.394 |
| Betão simples ($f_c=36.7$) | - | 0 | 36.7 (f_c) | 1.0 | 3518 (ϵ_{cp}) | 1.0 | - | - |
| W300S1 | - | 3 | 83.33 | 2.27 | 25960 | 7.38 | - | - |
| | | 5 | 95.98 | 2.62 | 25720 | 7.31 | 4948 | 0.321 |
| | | 7 | 99.58 | 2.72 | 26320 | 7.48 | 3428 | 0.222 |

7 - AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho agradecem a colaboração prestada pela empresa BeTTor MBT Portugal. O segundo autor agradece a bolsa SFRH/BSAB/291/2002-POCTI concedida pela FCT e FSE.

8 - BIBLIOGRAFIA

CEB-FIB, Structural Concrete- textbook on behaviour, design and performance, vol.1, July 1999.

Choi, S.; Thienel K.-C.; Shah, S. P., Strain softening of concrete, RILEM Round Robin Test, Committee 148-SSC-Strain softening of concrete, Evaston, IL, USA, July, 1994.

Mirmiran A.; Shahawy M., Behaviour of concrete columns confined by fiber composites, ASCE Journal of structural Engineering, Vol 123, nº5, pp 583-590, 1997.

Publicação técnico/comercial da MBTBettor, Master Builders Technologies.

Seible, F.; Priestley, M. J. N.; Hegemier, G. A.; Innamorato, D., Seismic retrofit of RC columns with continuous carbon fiber jackets, ASCE, *Journal of Composites for Construction*, Vol. 1, nº2, pp 52-62, 1997.

Untiveros, C. M. A., Estudio experimental del comportamiento del hormigón confinado sometido a compresión, Tese de Doutoramento, UPC, Barcelona, Setembro de 2002.

Van Vliet, M. R. A.; Van Mier, J. G. M., Experimental investigation of concrete fracture under uniaxial compression, *Mechanics of cohesive frictional material*, vol. 1, pp 115-127, 1996.

Xiao Y. and Wu H., and Martin, G. R., “Prefabricated composite jacketing of RC columns for enhanced shear strength”, ASCE Journal of structural Engineering, Vol 124, nº3, pp 255-264, 1999.

Xiao, Y.; Wu H., Compressive behaviour of concrete confined by carbon fiber composites jackets, ASCE Journal of Material in Civil Engineering, Vol 12, nº2, pp 139-146, May, 2000.

Zangelmi, E. J., Caracterización del comportamiento de hormigones de altas prestaciones con y sin fibras metálicas a compresión uniaxial, Tese de Doutoramento, UPC, Barcelona, Abril de 1999.