

Punçoamento de Lajes Fungiformes Reforçadas com Parafusos Efeito da Área e Posicionamento da Ancoragem

Micael Inácio¹

António Ramos²

Válter Lúcio³

Duarte Faria⁴

RESUMO

No presente trabalho é apresentado o estudo experimental desenvolvido com o objetivo de analisar o efeito da área de ancoragem e do seu posicionamento, no comportamento de lajes fungiformes maciças reforçadas ao punçoamento com recurso a parafusos pré-esforçados pós-instalados.

Foram elaborados e ensaiados sete modelos de laje fungiforme, dos quais seis foram reforçados com a introdução de parafusos verticais pré-esforçados, e o restante utilizado como modelo de referência não reforçado. Utilizaram-se parafusos de reforço de 6 e 8 mm de diâmetro e três técnicas diferentes para realizar a ancoragem dos parafusos. Em dois modelos a ancoragem dos parafusos é de grandes dimensões e nos restantes quatro modelos a ancoragem é de pequenas dimensões. Em dois destes quatro modelos, as ancoragens foram posicionadas junto à face da laje e nos outros dois as ancoragens foram embutidas no betão de recobrimento da armadura longitudinal.

A deformação dos modelos, as cargas de rotura e a evolução da força nos parafusos são analisados. Os valores da carga de rotura obtidos são comparados com os previstos pelo EC2 [1], ACI 318-11 [2] e MC2010 [3].

A técnica de reforço através da colocação de armadura vertical pós-instalada mostrou-se eficiente, tendo-se verificado o aumento de capacidade de carga das lajes em cerca de 23%. A área e o posicionamento das ancoragens revelaram ter importância na eficiência do sistema de reforço. Os valores da carga de rotura calculados através das expressões propostas no EC2 [1] e no MC2010 [3] são próximos dos obtidos experimentalmente, enquanto as expressões propostas pelo ACI 318-11 [2] preveem valores de rotura inferiores aos obtidos experimentalmente.

Palavras-chave: punçoamento, reforço, lajes, betão armado.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas em laje fungiforme são correntemente utilizadas em edifícios para os mais variados fins. O uso deste tipo de estruturas permite, de facto, grande versatilidade no que diz respeito à divisão dos espaços e maior facilidade na execução das instalações técnicas. Além disso, esta técnica apresenta ainda as vantagens da simplicidade, economia e rapidez de execução.

¹ Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, 2829-516 Caparica, Portugal. mmgi@fct.unl.pt

² Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, 2829-516 Caparica, Portugal. ampr@fct.unl.pt

³ Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, 2829-516 Caparica, Portugal. vlucio@fct.unl.pt

⁴ Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, 2829-516 Caparica, Portugal. duamvf@gmail.com

Com a generalização das estruturas em laje fungiforme, verificam-se frequentemente problemas estruturais, alguns deles relacionados com a resistência ao punçamento. Para solucionar problemas de deficiente comportamento ao punçamento podem ser aplicadas diferentes técnicas de reforço estudadas por alguns autores. No passado foram estudadas técnicas de reforço de lajes com a introdução de armadura longitudinal adicional, com ou sem aumento da sua espessura [4], o reforço com chapas de aço [5-7] ou polímeros reforçados com fibras (FRP) [8-10], o reforço através da substituição do betão por um betão de resistência superior e/ou a adição de fibras de aço [11,12], o reforço através da utilização de capitéis metálicos [13] ou de betão [11,13], o reforço através da utilização de pré-esforço [14] ou o reforço através da introdução de nova armadura transversal [11,15-19].

Nos ensaios realizados com a introdução de nova armadura transversal, são utilizadas em geral chapas de ancoragem de dimensões consideravelmente grandes, obrigando numa situação real de reforço, à realização de trabalhos adicionais com o objetivo de dissimular as chapas de ancoragem.

Neste trabalho pretende-se estudar o efeito da área de ancoragem das armaduras de reforço e do seu posicionamento, no comportamento de lajes fungiformes ao punçamento. São apresentados os resultados experimentais de sete modelos, sendo que um deles é o modelo de referência, não reforçado, e os restantes foram reforçados com a introdução de armaduras pós-instaladas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Descrição dos modelos

Os modelos ensaiados eram painéis quadrados de laje de betão armado com 1,80 m de lado e 0,12 m de espessura. O modelo não reforçado designa-se de R, enquanto aos modelos reforçados foi atribuída uma designação em função do diâmetro do parafuso de reforço e da dimensão e posicionamento da ancoragem. Os modelos em que a ancoragem é realizada com chapas de aço de grandes dimensões designam-se de M6 e M8, conforme o diâmetro do parafuso de reforço seja 6 ou 8 mm. Aos modelos em que a ancoragem dos parafusos de reforço é realizada com chapas de aço de pequenas dimensões na superfície da laje ou embutidas no betão de recobrimento da armadura, associou-se o sufixo S ou SE, respetivamente. O Quadro 1 apresenta o resumo das características de cada modelo.

Quadro 1. Designação e características dos modelos

<i>Modelo</i>	<i>Parafusos de reforço</i>	<i>Ancoragem</i>
R	R	-
M6	M6	Chapa de aço de grandes dimensões
M6S	M6	Chapa de aço de pequenas dimensões, à superfície
M6SE	M6	Chapa de aço de pequenas dimensões, embutida
M8	M8	Chapa de aço de grandes dimensões
M8S	M8	Chapa de aço de pequenas dimensões, à superfície
M8SE	M8	Chapa de aço de pequenas dimensões, embutida

A armadura longitudinal superior é composta por uma malha quadrada Ø10//0,075 m e a longitudinal inferior por uma malha quadrada Ø6//0,20 m. O recobrimento das armaduras inferior e superior é aproximadamente de 10 mm e 20 mm, respetivamente.

O sistema de ensaio utilizado é apresentado na Figura 1 e é constituído por quatro perfis metálicos RHS 150x150x10 mm³, sob os quais são colocadas oito placas de aço com dimensões de 100x100x20 mm³, que apoiam na face superior do modelo. Através de quatro cordões de aço de alta resistência com diâmetro de 0,6'', ancorados por cabeças de ancoragem sobre os perfis metálicos e à laje de reação do laboratório, são garantidas as condições de fronteira do modelo.

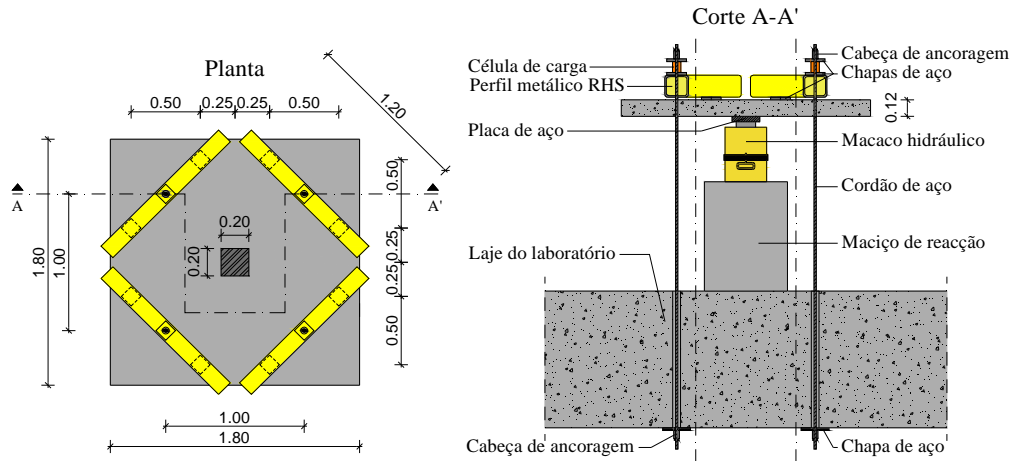


Figura 1. Modelos e sistema de ensaio utilizado

O sistema de carga é constituído por um macaco hidráulico que aplica a força numa placa de aço com dimensões de 0,20x0,20 m², que simula um pilar no centro do modelo. A espessura da placa que simula o pilar tem 5 cm de espessura, possuindo assim rigidez suficiente para manter a superfície de contacto plana ao longo do ensaio.

2.2 Propriedades dos materiais

Para a caracterização dos materiais constituintes dos modelos foram ensaiados o betão, os varões da armadura longitudinal e os parafusos de reforço. No Quadro 2 são apresentadas a tensão média de rotura à compressão do betão em provetes cilíndricos (f_{cm}), a tensão limite convencional de proporcionalidade a 0.2 % do aço ($f_{p0.2}$) e a tensão de cedência do aço (f_{sy}). Os parafusos de reforço foram obtidos através de varões roscados e na zona central procedeu-se à diminuição da sua secção, de forma a facilitar a colocação dos extensómetros (Figura 2).

Quadro 2. Propriedades dos materiais

Modelo	Betão		Parafusos		Armadura longitudinal	
	f_{cm} [MPa]	$f_{p0.2}$ [MPa]	M6 $f_{p0.2}$ [MPa]	M8 $f_{p0.2}$ [MPa]	Ø 6 $f_{p0.2}$ [MPa]	Ø 10 f_{sy} [MPa]
R	39.3	-	-	-	586	467
M6	47.7	421	-	-	586	467
M6S	36.3	530	-	523	-	529
M6SE	26.8	530	-	523	-	529
M8	47.7	-	523	-	586	467
M8S	38.7	-	587	523	-	529
M8SE	26.8	-	587	523	-	529

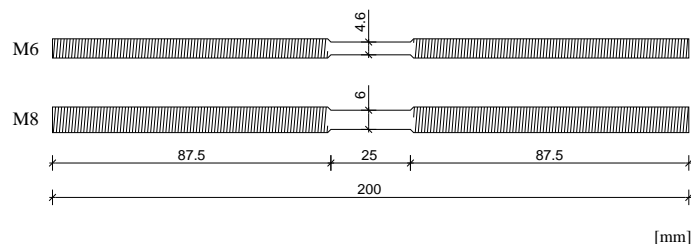


Figura 2. Geometria dos parafusos de reforço usados

2.3 Instrumentação dos modelos

Para a medição dos deslocamentos verticais da laje, instalaram-se cinco defletómetros elétricos da TML do tipo CDP-100, cujo posicionamento é apresentado na Figura 3a. Foi instalada uma célula de carga por cada viga metálica para monitorização da carga vertical aplicada. Para conhecer a evolução da força instalada nos parafusos, procedeu-se à colocação de extensómetros elétricos em oito parafusos de cada modelo (dois extensómetros por cada parafuso instrumentado, colocados em posições diametralmente opostas).

Para quantificar as extensões da armadura longitudinal superior, foram instrumentados três varões orientados na direção de maior altura útil, cada um com dois extensómetros elétricos da TML do tipo FLA-5-11-5L, colocados em posição diametralmente oposta e a meio do varão (Figura 3b). Os varões foram instrumentados alternadamente a partir do centro do pilar, sendo a distância entre varões instrumentados de 0,15 m.

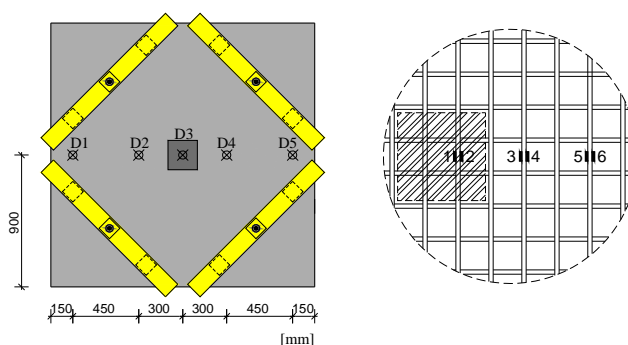


Figura 3. a) Localização dos defletómetros b) Posição dos extensómetros na armadura longitudinal

2.3 Execução dos ensaios

O modelo de referência (R) foi ensaiado com carregamento a velocidade constante, tendo a rotura por punçamento ocorrido para uma carga vertical aplicada de 269 kN. Os ensaios dos modelos reforçados foram divididos em duas fases: a fase de fendilhação e a fase de carregamento até à rotura. Na fase de fendilhação, os modelos foram sujeitos a um carregamento aplicado a velocidade constante até cerca 60 % da carga de rotura do modelo de referência. Com esta fase pretendeu-se impor nos modelos características idênticas às de uma laje com necessidade de reforço ao punçamento.

Após a fase de fendilhação, os modelos foram sujeitos ao reforço com a colocação transversal dos parafusos. A disposição dos parafusos de reforço foi igual em todos os modelos e pode ser observada na Figura 4.

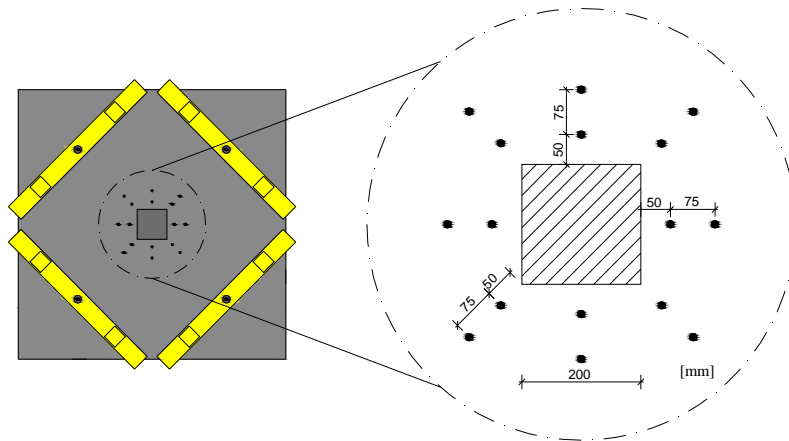


Figura 4. Disposição em planta dos parafusos de reforço

Para fazer a ancoragem dos parafusos, nos modelos M6 e M8 usou-se uma chapa de aço com dimensões de 150x50x5 mm³ comum a dois parafusos (Figura 5a). Nos modelos M6S e M6SE utilizaram-se chapas de aço circulares com 5,50 mm de espessura, 6,65 mm de diâmetro interior e 20,75 mm de diâmetro exterior (Figura 5b), enquanto nos modelos M8S e M8SE utilizaram-se chapas de aço circulares com 7,50 mm de espessura, 9,10 mm de diâmetro interior e 27,00 mm de diâmetro exterior (Figura 5c).

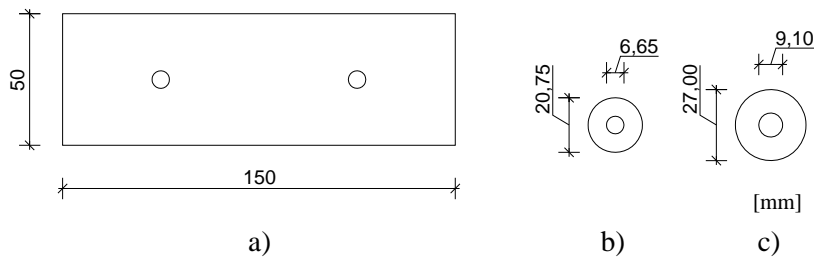


Figura 5. Geometria em planta das chapas de ancoragem usadas nos modelos reforçados

A Figura 6 esquematiza em corte transversal o posicionamento das chapas de aço que asseguram a ancoragem dos parafusos.

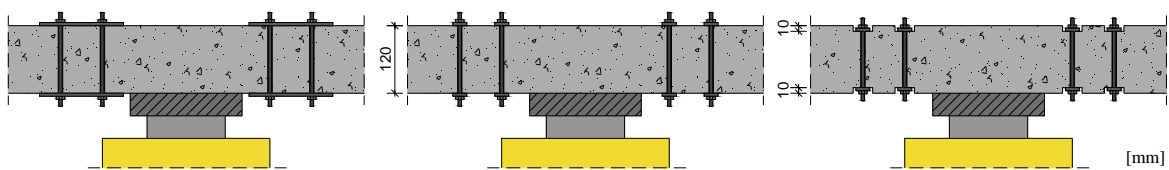


Figura 6. Esquema ilustrativo das várias técnicas de reforço

Após a colocação dos parafusos de reforço, procedeu-se ao seu aperto e pré-esforço, controlando o torque através de uma chave dinamométrica. A força inicial média dos parafusos é apresentada no Quadro 3. O carregamento dos modelos até à rotura foi realizado também a velocidade constante.

Quadro 3. Força inicial média nos parafusos

<i>Modelo</i>	<i>M6</i>	<i>M6S</i>	<i>M6SE</i>	<i>M8</i>	<i>M8S</i>	<i>M8SE</i>
Força inicial média dos parafusos [kN]	3,5	2,7	2,7	5,9	5,5	6,3

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Cargas de rotura

Os valores das cargas de rotura obtidas experimentalmente são apresentados no Quadro 4. Para fazer a análise do aumento da capacidade de carga dos modelos reforçados de forma a ter em conta as variações da altura útil, da percentagem de armadura e da resistência à compressão do betão, as cargas experimentais foram divididas pelo valor obtido com a expressão do EC2 [1] que permite calcular o valor resistente ao punçamento centrado sem armaduras específicas, usando os valores médios para a resistência à compressão do betão e desprezando a limitação do fator k. As relações obtidas foram posteriormente divididas pelo valor obtido para a laje de referência (R), permitindo assim considerar apenas o efeito do reforço na análise da resistência ao punçamento das lajes reforçadas. Os resultados obtidos para a capacidade de carga adimensionalizada de cada um dos modelos são apresentados na Figura 7.

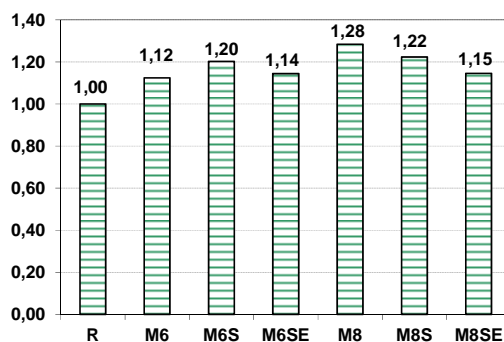


Figura 7. Capacidade de carga adimensionalizada

Em todos os modelos reforçados existiu aumento da capacidade de carga. Nos modelos reforçados com parafusos de 6 mm de diâmetro verificou-se um incremento médio da capacidade de carga de 15%, enquanto nos modelos reforçados com parafusos de 8 mm de diâmetro o aumento médio da capacidade de carga foi de 22%.

3.2 Deslocamentos verticais

Os cinco defletómetros elétricos instalados durante a realização dos ensaios, permitiram determinar os deslocamentos verticais relativos em relação ao pilar central de quatro pontos da laje. Para cada modelo reforçado ensaiado foi elaborado um gráfico (Figura 8) com a evolução dos deslocamentos ao longo das duas fases de carregamento a que foram sujeitos, fase de fendilhação e fase de carregamento até à rotura. No modelo de referência apenas existiu a fase de carregamento até ocorrer a rotura da laje. Os gráficos apresentados dizem respeito ao deslocamento vertical à distância de 750 mm do centro da laje e os valores foram obtidos pela média dos defletómetros colocados nos pontos referidos.

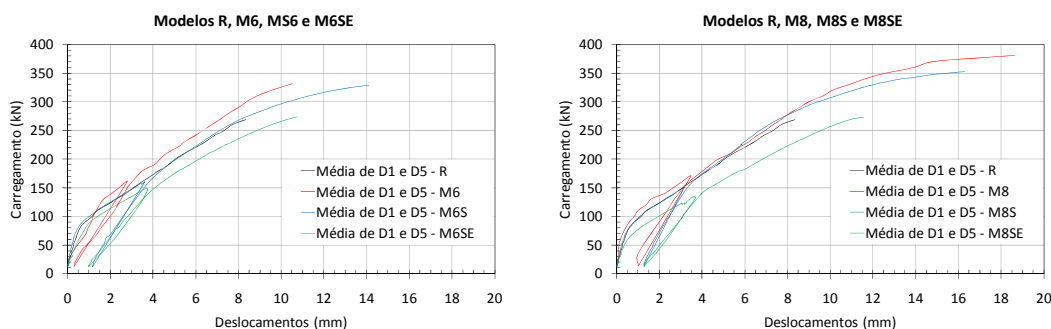


Figura 8. Evolução dos deslocamentos verticais

Em todas as lajes ensaiadas, a evolução dos deslocamentos verticais com o aumento da carga aplicada apresenta duas fases distintas. No início do carregamento a inclinação do gráfico deslocamentos-carregamento é mais acentuada, existindo posteriormente uma diminuição significativa de rigidez, que se traduz na diminuição da inclinação do gráfico representativo da evolução dos deslocamentos verticais denotando o início da fendilhação da laje. Após a descarga da laje todos os modelos apresentam deformações residuais.

3.3 Evolução da força nos parafusos

A Figura 9 mostra a evolução da força nos parafusos na camada interior e exterior de cada modelo reforçado ensaiado. De forma geral, a força instalada nos parafusos mantém-se aproximadamente constante até a carga vertical aplicada atingir 70 a 95 % da carga de rotura, sofrendo incrementos acentuados a partir desse momento, com a exceção dos parafusos da camada interior do modelo M8, onde a força instalada começa a aumentar quando a carga vertical aplicada atinge cerca de 50 % da carga de rotura.

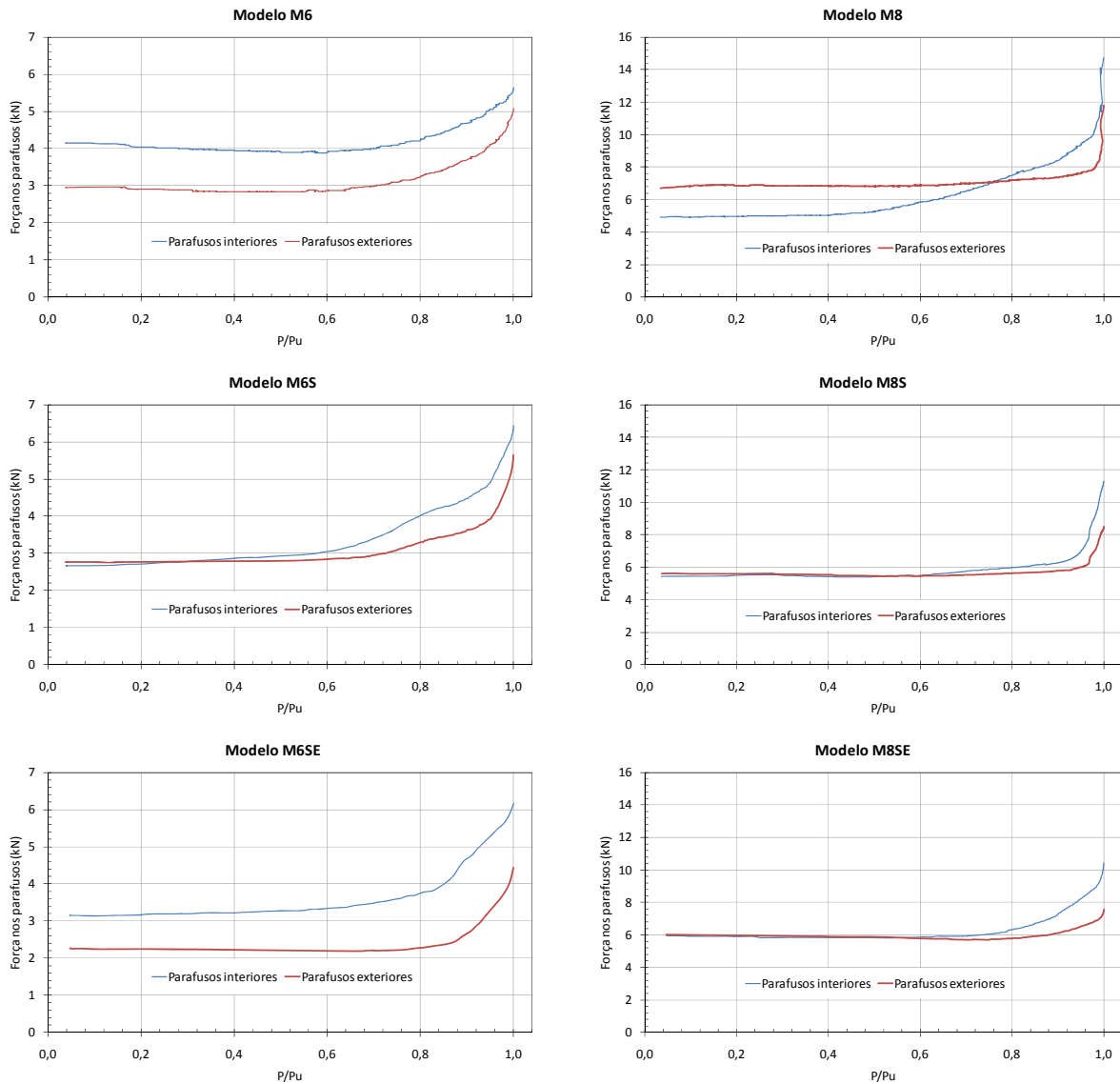


Figura 9. Evolução da força dos parafusos dos vários modelos ensaiados

3.4 Comparação das cargas de rotura com os valores previstos pelo EC2, ACI 318-11 e MC2010

Foram calculados os valores da carga de rotura ao punçamento usando as expressões preconizadas no EC2 [1], ACI 318-11 [2] e MC2010 [3], considerando os valores médios da resistência à compressão do betão e não considerando os coeficientes parciais de segurança. Por motivos de limitação de espaço não são apresentadas as expressões utilizadas, no entanto, mais detalhes podem ser encontrados em Faria [20] e Inácio [21]. No caso do EC2 [1] desprezou-se a limitação da tensão no aço dos parafusos e o fator de escala. Para o MC2010 [3] foram usados os níveis de aproximação II e III. O valor da carga de rotura por flexão (V_{flex}) foi calculado para cada um dos modelos utilizando o método das linhas de rotura. Os valores obtidos são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Comparação entre as cargas experimentais e as previstas pelas normas

Modelo	$V_{exp}^{(1)}$ (kN)	Norma	Modo de Rotura ⁽²⁾	$V_{flex}^{(3)}$ (kN)	$V_{Rm}^{(4)}$ (kN)	$V_{exp}/V_{min}^{(5)}$
R	269,0	EC2		310,7	270,2	1,00
		ACI 318-11	-		209,2	1,29
		MC2010 (II)			241,6	1,11
		MC2010 (III)			254,6	1,06
M6	331,0	EC2	Interior	324,7	305,1	1,08
		ACI 318-11	Interior		186,2	1,78
		MC2010 (II)	Interior		299,2	1,11
		MC2010 (III)	Interior		314,7	1,05
M6S	328,6	EC2	Interior	364,0	289,2	1,14
		ACI 318-11	Interior		192,0	1,71
		MC2010 (II)	Interior		294,7	1,12
		MC2010 (III)	Interior		308,9	1,06
M6SE	273,8	EC2	Interior	323,1	263,6	1,04
		ACI 318-11	Interior		177,2	1,55
		MC2010 (II)	Interior		262,7	1,04
		MC2010 (III)	Interior		275,1	1,00
M8	381,0	EC2	Flexão	327,9	365,3	1,16
		ACI 318-11	Interior		263,2	1,45
		MC2010 (II)	Flexão		327,9	1,16
		MC2010 (III)	Flexão		327,9	1,16
M8S	352,3	EC2	Exterior	378,1	353,6	1,00
		ACI 318-11	Interior		281,4	1,25
		MC2010 (II)	Interior		350,4	1,01
		MC2010 (III)	Interior		366,3	0,96
M8SE	273,0	EC2	Exterior	321,0	294,9	0,93
		ACI 318-11	Interior		252,2	1,08
		MC2010 (II)	Exterior		272,6	1,00
		MC2010 (III)	Exterior		288,5	0,95

⁽¹⁾ carga de rotura experimental; ⁽²⁾ modo de rotura previsto; ⁽³⁾ carga de rotura prevista por flexão; ⁽⁴⁾ carga de rotura prevista por punçamento; ⁽⁵⁾ $V_{min} = \min(V_{flex}; V_{Rm})$.

O Quadro 5 apresenta o resumo dos valores obtidos para a relação V_{exp}/V_{min} considerando todos os modelos (valores da esquerda) e apenas os modelos reforçados.

Quadro 5. Resumo dos resultados obtidos para a relação V_{exp}/V_{min}

	<i>EC2</i>	<i>ACI 318-11</i>	<i>MC2010 (II)</i>	<i>MC2010 (III)</i>
Average	1.03 / 1.04	1.44 / 1.47	1.05 / 1.06	1.01 / 1.00
COV	0.07 / 0.08	0.19 / 0.20	0.05 / 0.05	0.05 / 0.05

Pela análise dos resultados apresentados nos Quadros 4 e 5, verifica-se que os valores obtidos pelo EC2 [1] e pelo MC2010 [3] no nível III de aproximação, são muito próximos dos obtidos experimentalmente, com rácio V_{exp}/V_{Rm} de 1.03 e 1.01, respetivamente.

Os valores previstos calculados pelas expressões preconizadas pelo ACI 318-11 [2] são ligeiramente conservativos, com rácio V_{exp}/V_{Rm} de 1.44 e 1.47, respetivamente, considerando todos os modelos ou apenas os modelos reforçados. Além disso, o ACI 318-11 [2] apresenta valores elevados do coeficiente de variação, quando comparado com o EC2 [1] e MC2010 [3].

Comparando os valores obtidos pelos níveis II e III de aproximação do MC2010 [3], conclui-se que existe uma pequena diferença entre eles e ambos levam a resultados próximos dos experimentais, para este conjunto de ensaios experimentais.

CONCLUSÕES

Nas estruturas de laje fungiforme, existe por vezes, a necessidade de proceder ao seu reforço, nomeadamente no diz respeito às zonas de ligação pilar-laje, onde frequentemente surgem problemas de punçamento.

Os resultados experimentais apresentados neste trabalho revelam a eficácia deste sistema de reforço. De facto, foi conseguido um incremento médio da capacidade de carga de 15% e 22% quando foram usados parafusos de reforço M6 e M8, respetivamente, associado a uma melhoria da ductilidade da ligação pilar-laje.

A utilização de ancoragens de pequenas dimensões e embutidas no betão de recobrimento levou a uma ligeira perda de eficiência do sistema de reforço, mas com menores implicações arquitetónicas devido ao facto das ancoragens serem de pequenas dimensões e fácil dissimulação.

O método de reforço estudado, através da introdução de parafusos transversais à laje, ancorados com chapas de aço de pequena dimensão embutidas no betão, revelou-se uma boa técnica de reforço, pois associa a economia, simplicidade e rapidez de execução ao facto de não ter implicações arquitetónicas causadas pelas chapas de ancoragem.

A comparação dos valores obtidos experimentalmente com os previstos pelos EC2 [1], ACI 318-11 [2] e MC2010 [3], leva a concluir que os resultados obtidos pelos EC2 [1] e MC2010 [3] são muito próximos dos experimentais, enquanto os resultados obtidos pelo ACI 318-11 [2] são ligeiramente conservativos e apresentam grande dispersão.

AGRADECIMENTOS

Os ensaios descritos neste artigo foram realizados no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. A esta instituição agradecemos os meios colocados à disposição. Este trabalho recebeu ainda apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia – Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior através do Projeto PTDC/ECM/114492/2009.

Manifestamos igualmente reconhecimento à Concremat, S.A., pelo seu contributo à realização destes ensaios através da fabricação dos modelos ensaiados.

REFERÊNCIAS

- [1] EN 1992-1-1. 2004, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. *European Committee for Standardization*.
- [2] American Concrete Institute: *ACI 318-11*. 2011, Building Code Requirements Structural Concrete and Commentary. *ACI Committee 318*.
- [3] Model Code 2010. 2010, Final Draft. *Federation International du Beton*. Fib Bulletin N° 66.
- [4] Radik, M. [et al.] (2011). Strengthening Two-Way Reinforced Concrete Floor Slabs Using Polypropylene Fiber Reinforcement. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 562-571
- [5] Zhang, J.W. [et al.] (2001). Behavior of Two-way RC Slabs Externally Bonded with Steel Plat. *ASCE Journal of Structural Engineering*, p. 390-397.
- [6] Van Gemert D (1996). Special Design Aspects of Adhesive Bonding of Plates. *ACI Special Publication SP 165 (2), Repair and Strengthening of Concrete Members with Adhesive bonded Plates*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, p. 25-41.
- [7] Ebead, U.; Marzouk, H. (2002). Strengthening of Two-Way Slabs using Steel Plates. *ACI Structural Journal*, Vol. 99, No. 1, Jan.-Feb. 2002, pp. 23-31.
- [8] Teng, J.G. [et al.] (2002). FRP Strengthened RC Structures. *John Wiley & Sons*, England.
- [9] Seim, W. [et al.] (2001). External FRP Post-strengthening of Scaled Concrete Slabs. *ASCE Journal of Composites for Construction*, p. 67-75.
- [10] Binici, B.; Bayrak, O. (2005). Upgrading of Slab-Column Connections using Fibre Reinforced Polymers. *Engineering Structures*, No.27, pp. 97-107.
- [11] Ramos, A. M. P. [et al.] (2000). Repair and strengthening Methods of Flat Slabs for Punching. *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Flat Slabs*, Royal Institute of Technology, Department of Structural Engineering, 9 p.
- [12] Harajli, M.H. [et al.] (1995). Effect of Fibers on the Punching Shear Strength of Slab-Column Connections. *Cement & Concrete Composites*, 17, Elsevier Science, p. 161-170.
- [13] Hassanzadeh, G.; Sundqvist, H. (1998). Strengthening Of Bridge Slabs On Columns. *Nordic Concrete Research* 21.
- [14] Faria, D. [et al.] (2011). Strengthening of flat slabs with post-tensioning using anchorages by bonding. *Engineering Structures* 33, 2025–2043.
- [15] Ghali, A. [et al.] (1974). Vertical prestressing of flat plats around columns. *ACI SP 42 - Shear in Reinforced Concrete*, Detroit, p. 905-920.
- [16] Ruiz M.F. [et al.] (2010). Strengthening of Flat Slabs Against Punching Shear Using Post-Installed Shear Reinforcement. *ACI Structural Journal*, Vol. 107, No.4, July-Aug. 2010, p.434-442.
- [17] Duarte, I. [et al.] (2008). Strengthening of existing Flat Slabs with transverse Reinforcement. *Proceedings of CCC 2008, Challenges for Civil Construction*, FEUP, Oporto, April, 2008.
- [18] Adetifa, B.; Polak, M. (2005). Retrofit of Slab Column Interior Connections Using Shear Bolts Punching Shear. *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No.2, March-April 2005, p.268-274.
- [19] Luís, M.; Ramos, A. (2008). Estudo Experimental do Punçoamento Cíclico de Lajes Fungiformes Reforçadas com Pré-Esforço Transversal. *BE2008 – Encontro Nacional de Betão Estrutural 2008*, 10 p.
- [20] Faria, D. [et al.] (2012). Punching of strengthened concrete flat slabs – Experimental analysis and comparison with codes. *Structural Engineering International*, Vol. 22, No. 2, May 2012, pp. 202-214.
- [21] Inácio, M. [et al] (2012). Strengthening of flat slabs with transverse reinforcement by introduction of steel bolts using different anchorage approaches. *Engineering Structures* 44, 63–77.