

CARACTERIZAÇÃO E COMPORTAMENTO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS DE “PLACA”

Paula R. C. Lamego^{1,2*}, Paulo B. Lourenço²

1: GulTTS, Área Departamental de Engenharia Civil
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
1959-007 Lisboa
e-mail: paula.lamego@dec.isel.pt, web: <http://www.isel.pt/adece>

2: ISISE, Departamento de Engenharia Civil
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
4800-058 Guimarães
e-mail: pbl@civil.uminho.pt web: <http://www.isise.net>

Palavras-chave: edifícios de “placa”, caracterização construtiva, descontinuidade estrutural, armadura insuficiente, comportamento sísmico, dano sísmico.

Resumo. *Os edifícios de “placa” caracterizam-se por possuírem pavimentos em betão que descarregam directamente em paredes, podendo estas possuir capacidade resistente ou não. Estes edifícios foram construídos em Portugal Continental entre as décadas de 1930 e 1960 [1] e representam, na actualidade, cerca de 40% do parque habitacional [2]. Dada a elevada representatividade desta tipologia construtiva no edificado nacional, acrescido do facto de existir pouca informação sobre o seu comportamento, a mesma está a ser objecto de um estudo que, entre outros factores, analisa a sua vulnerabilidade sísmica.*

Apresentam-se, neste artigo, algumas das conclusões obtidas no decorrer do referido estudo. Procede-se assim à exposição dos aspectos construtivos mais marcantes e que são próprios dos edifícios de “placa”, identificando-se materiais vulgarmente utilizados e características construtivas dos mesmos. Do ponto de vista estrutural, descrevem-se as diferentes metodologias construtivas encontradas na análise dos projectos estruturais originais, incluindo a eventual existência e localização de elementos estruturais em betão armado, tais como pilares e vigas. Um estudo detalhado dos elementos estruturais é também aqui efectuado, com uma análise das secções e armaduras mais vulgarmente encontradas.

A execução de modelos computacionais de diversos edifícios, simulando simultaneamente as paredes em alvenaria e os elementos resistentes em betão armado, e a posterior realização de análise “pushover”, permitiu a observação do comportamento dos mesmos face a acções horizontais. Assim, os resultados obtidos desta análise, tendo em conta a classe em altura dos edifícios (pequeno, médio ou grande porte), são apresentados neste artigo, com a análise dos danos sísmicos mais frequentemente verificados tanto em paredes como em pilares e vigas e, finalmente, a identificação de eventuais zonas do edifício com deficiente capacidade estrutural face à acção sísmica.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito de um estudo sobre a vulnerabilidade sísmica do edificado habitacional existente em Portugal Continental, procedeu-se à análise de edifícios pertencentes a diversas tipologias construtivas e edificados antes de 1983 (data de publicação do REBAP [3] e do RSA [4]).

Após a análise de diversas zonas do país, considerou-se que o bairro de Alvalade, em Lisboa, seria um bom exemplo do tipo de construção objecto deste estudo. Este bairro compreende um total de 2000 edifícios, construídos maioritariamente entre a década de 1940 e o final da década de 1970. Possui tipologias construtivas diversas, desde edifícios com paredes em alvenaria de pedra e pavimentos em madeira, edifícios de “placa” e edifícios “porticados” em betão armado. Possui ainda a vantagem de conter edifícios com os mais variados números de pisos, o que permite a separação dos mesmos por tipo de porte (pequeno, médio e grande porte), e uma análise mais pormenorizada de cada um deles.

Deste modo, após exclusão dos edifícios com utilização exclusivamente fabril e/ou comercial, bem como dos edifícios habitacionais que sofreram alterações posteriores ou que foram construídos após 1983, procedeu-se à consulta e análise dos projectos de construção originais do edificado em estudo, junto das entidades competentes. Esta análise permitiu a compilação de diversos dados cuja informação é pouco conhecida da actual comunidade científica, principalmente no que respeita às características construtivas dos edifícios de “placa”, e que se apresentam em seguida.

Do conjunto dos edifícios estudados, seleccionaram-se alguns considerados como representativos da tipologia construtiva, e que foram objecto de uma análise da sua vulnerabilidade sísmica [5]. No decorrer dessa análise foi possível extrair informação relevante sobre danos sísmicos expectáveis, apresentados no ponto 3 deste artigo.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DE “PLACA”

A característica fundamental e que define um edifício como sendo de “placa” é o facto de este possuir lajes em betão que descarregam directamente em paredes.

Da análise do conjunto de projectos consultados, e pertencentes à tipologia de edifícios de “placa”, verificou-se que os mesmos apresentam, de uma forma geral, áreas em planta com dimensões não excessivas, relativa homogeneidade em planta, e que o número de pisos raramente ultrapassa os 5 pisos elevados. É habitual encontrar algumas vigas e pilares em betão armado, esporádicos e/ou colocados em locais estratégicos. O betão utilizado pode ser considerado como B20 (actual 16/20) ou B25 (actual C20/25), dependendo das condições em que se encontre o edifício, e o aço em varão liso da classe A235.

As lajes são em betão armado, possuindo habitualmente uma espessura total de 0,10m, com uma armadura em rede, colocada a meio da espessura da laje.

As paredes podem ser resistentes ou não e encontram-se os materiais mais diversos, tais como: alvenaria ordinária de pedra argamassada, tijolo cerâmico maciço, tijolo cerâmico perfurado e blocos de betão. É vulgar encontrar dois ou três tipos de materiais distintos para a construção das paredes de um mesmo edifício.

Nos casos em que os edifícios se encontram dispostos numa fila contínua de construções ou em “banda”, as paredes de empena são em betão armado com 0,20m de espessura, com uma armadura média # (ϕ 6 // 0,20m), colocada a meio da espessura da parede.

Do ponto de vista de soluções construtivas globais, as mais encontradas são compostas e estruturadas da seguinte forma:

- Edifícios com paredes exteriores em alvenaria ordinária de pedra argamassada, caixa de escada e paredes divisórias dos fogos em tijolo cerâmico maciço e paredes interiores em tijolo cerâmico perfurado;

- Edifícios com paredes exteriores (fachadas principal e de tardoz) em alvenaria ordinária de pedra calcária, paredes de empena em betão armado, caixa de escada e paredes divisórias dos fogos em tijolo cerâmico maciço e paredes interiores em tijolo cerâmico perfurado;
- Edifícios com paredes exteriores, caixa de escada e divisórias de fogos em tijolo cerâmico maciço e paredes interiores em tijolo cerâmico perfurado ou blocos de betão;
- Edifícios com paredes (exteriores, interiores e caixa de escada) em tijolo cerâmico perfurado;
- Edifícios com paredes (exteriores, interiores e caixa de escada) em blocos de betão;

O tipo de materiais utilizado pode também variar em termos de altura. Por exemplo, num edifício com 5 pisos elevados, as paredes interiores são em tijolo cerâmico maciço nos primeiros dois pisos, enquanto que nos três últimos pisos passam a ser em tijolo cerâmico perfurado. Situação idêntica pode ser encontrada nos materiais utilizados para a construção da caixa de escada. De uma forma geral, os materiais existentes nos pisos mais baixos possuem maior capacidade resistente que os restantes.

O tipo de elementos existente em betão armado, bem como a sua localização no edifício, variam consoante o número de pisos construídos, pelo que se apresenta essa informação seguidamente, dividida por tipo de porte do edifício.

2.1. Edifícios de pequeno porte

Entendem-se como edifícios de pequeno porte aqueles que possuem 1 ou 2 pisos elevados. Tratam-se, na sua maioria, de edifícios unifamiliares, isolados ou geminados.

Independentemente do tipo de material em que as paredes sejam construídas, os elementos existentes em betão armado são em número reduzido. A utilização de lintéis colocados na zona superior dos vãos exteriores é bastante vulgar, sendo muitas das vezes, os únicos elementos existentes em betão armado (Figura 1).

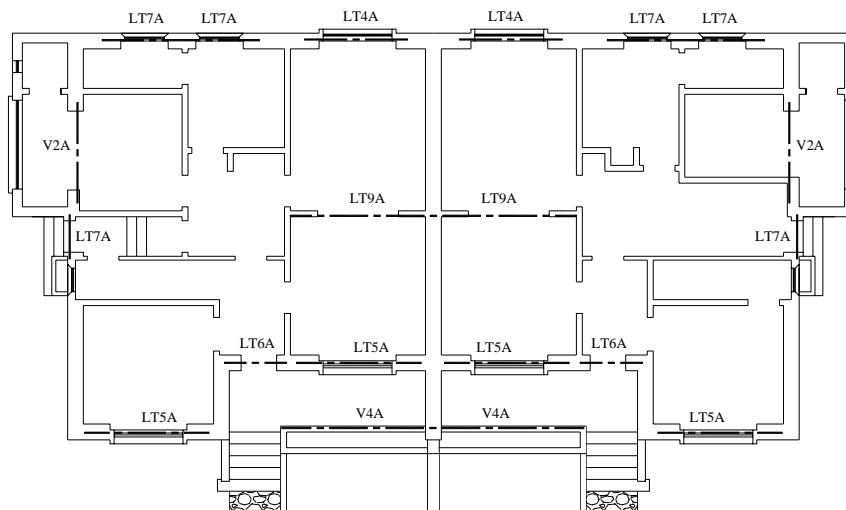


Figura 1. Planta do piso térreo de uma moradia geminada, com 2 pisos elevados, e com lintéis assentes na zona superior dos vãos de porta e de janela.

Esporadicamente, podem-se encontrar também edifícios de pequeno porte com elementos em betão armado apenas no seu interior (Figura 2).

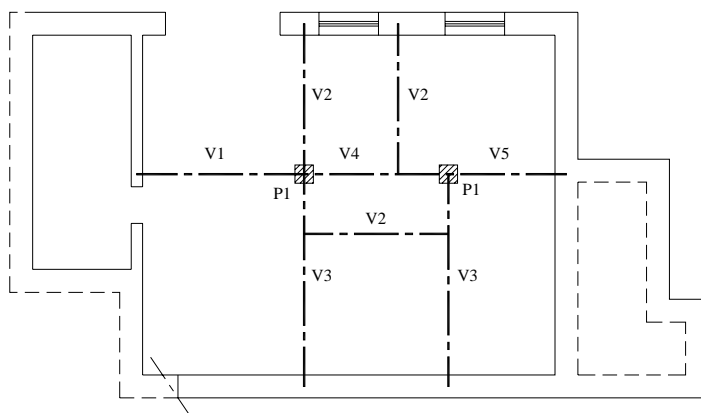


Figura 2. Planta da garagem (semi-enterrada) de uma moradia isolada, com 2 pisos elevados e com pilares e vigas em betão armado no interior.

2.2. Edifícios de médio e grande porte

Entendem-se como edifícios de médio porte os que possuem 3 a 5 pisos elevados. Considera-se que os edifícios de grande porte possuem 6 ou mais pisos elevados. A sua constituição é em tudo idêntica, observando-se que os edifícios de grande porte possuem apenas 6 pisos elevados e, em alguns casos raros, 7 pisos elevados.

Possuem pilares e vigas em betão armado, normalmente situados na periferia dos edifícios, podendo abranger a totalidade das paredes exteriores (Figura 3) ou apenas as paredes das fachadas principal e de tardo (Figura 4).

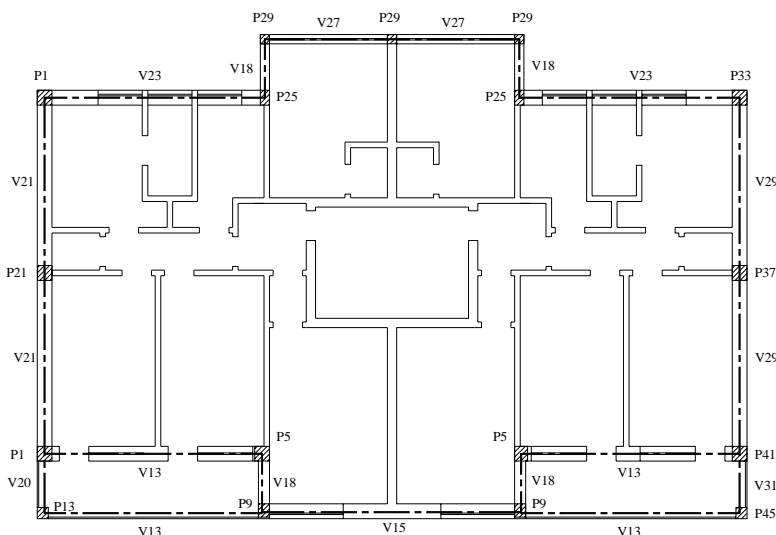


Figura 3. Planta de piso de um edifício de "placa", com 4 pisos elevados e com pilares e vigas em betão armado em toda a envolvente.

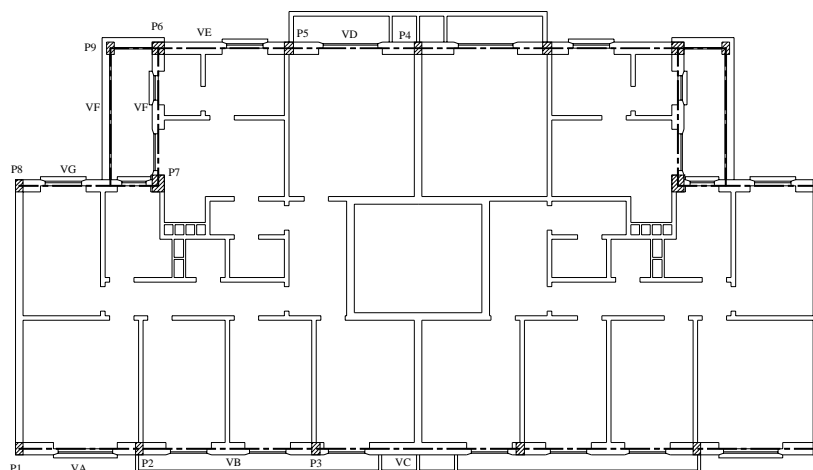


Figura 4. Planta de piso de um edifício de “placa”, com 4 pisos elevados e com pilares e vigas em betão armado nas fachadas principal e de tardoz.

No interior dos edifícios é raro observar a existência de elementos em betão armado, salvo vigas colocadas em locais estratégicos, tais como locais de onde vão “nascer” novas paredes nos pisos superiores.

Os edifícios que possuem lojas no piso térreo, apresentam um sistema porticado de vigas e pilares, do tipo do indicado na Figura 5, e presente apenas no piso das lojas. Nos restantes pisos, são mantidos os pilares e vigas exteriores, sendo o seu interior constituído unicamente por paredes.

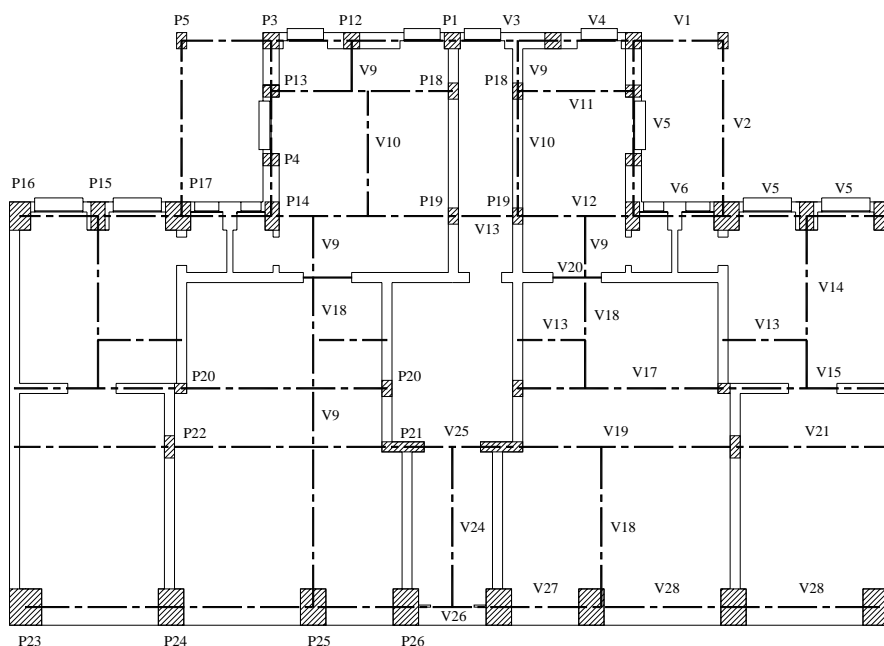


Figura 5. Planta do piso térreo (piso comercial) de um edifício habitacional de médio porte.

2.3. Composição dos elementos em betão armado

As vigas em betão armado projectadas para os edifícios de “placa” apresentam secções adequadas às acções a que estão sujeitos. Tanto as armaduras longitudinais como as de esforço transverso possuem capacidade resistente suficiente para suportar as acções verticais, sendo que estas últimas contêm alguns varões inclinados a 45° para resistir ao corte. A ligação destas ao pilar é um ponto fraco, pois a amarração ao mesmo é reduzida e, nalguns casos, praticamente inexistente. O recobrimento médio é de 2 cm. Apresenta-se na figura 6, um pormenor de uma viga pertencente a um edifício de médio porte.

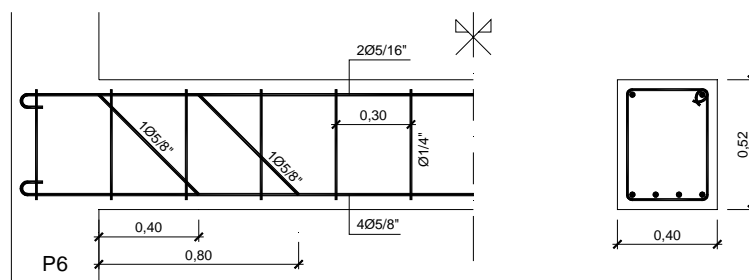


Figura 6. Pormenor de uma viga em betão armado, pertencente a um edifício de médio porte.

Na figura 7 apresenta-se a pormenorização do pilar P6, pertencente ao mesmo edifício, e idêntico aos encontrados nesta tipologia construtiva. Os pilares possuem, tal como as vigas, um recobrimento médio de 2 cm. As suas secções variam de piso para piso, bem como a armadura. Apresentam dimensões que, regra geral, são suficientes para a verificação da segurança apenas às cargas verticais. A armadura longitudinal, embora possua a área mínima necessária, encontra-se por vezes mal distribuída, com a quase totalidade dos varões colocados nos cantos do pilar. A armadura de esforço transverso é francamente diminuta, com espaçamentos demasiado grandes, e com apenas dois tramos, independentemente da dimensão da secção em causa. A cintagem dos varões verticais nas faces é muitas vezes insuficiente.

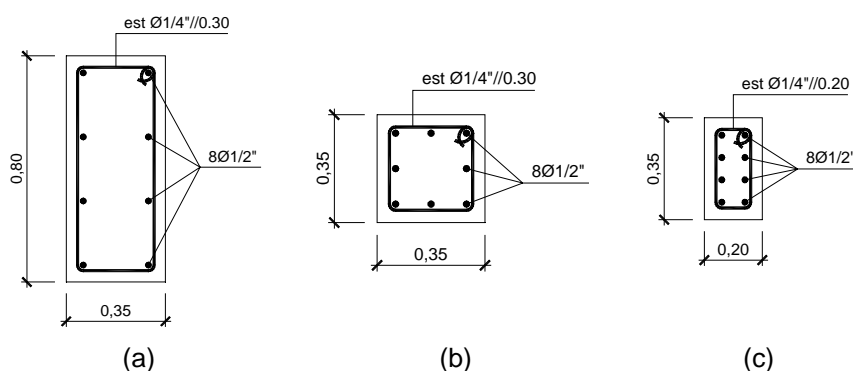


Figura 7. Pormenor de pilar em betão armado, pertencente a um edifício de grande porte.
(a) piso térreo; (b) 1º piso; (c) 2º piso

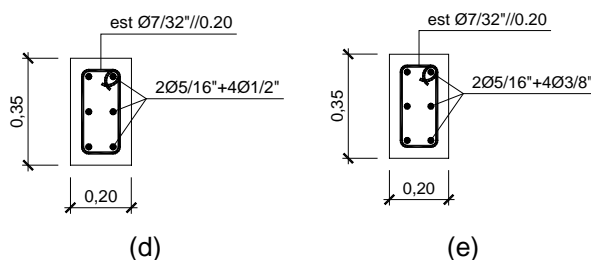


Figura 7 (cont). Pormenor de pilar em betão armado, pertencente a um edifício de grande porte. (d) 3º piso; (e) 4º e 5º pisos

3. DANOS SÍSMICOS MAIS FREQUENTES EM EDIFÍCIOS DE “PLACA”

Os danos sísmicos apresentados foram estimados com base na execução de análises *pushover*, realizadas com o auxílio do programa de cálculo 3Muri [6]. A análise *pushover* é uma análise não linear de uma estrutura à qual são impostos incrementos de forças horizontais e verificados os deslocamentos obtidos no topo da mesma. O gráfico força-deslocamento assim obtido, também denominado de curva de capacidade do edifício, permite observar o comportamento global expectável para o mesmo, quando sujeito à acção sísmica.

Os edifícios em estudo foram modelados no programa 3Muri, e no qual se consideraram os elementos em betão armado como elementos de “barra”, as paredes como “macro-elementos” e os pavimentos como diafragmas rígidos.

As curvas de capacidade obtidas para os edifícios foram simplificadas, assumindo que os mesmos teriam um comportamento elástico – perfeitamente plástico. De acordo com o recomendado no EC8 [7], o deslocamento último considerado para os edifícios corresponde à perda de mais de 20% da sua capacidade resistente global.

Os danos expectáveis, bem como as considerações que se apresentam em seguida, correspondem ao instante em que os edifícios atingem o seu deslocamento último. Salienta-se também o facto de que as curvas de capacidade são características dos edifícios e são independentes da acção sísmica e do tipo de terreno onde os mesmos se encontram erguidos.

No âmbito de um estudo de doutoramento realizado pela primeira autora sobre a vulnerabilidade sísmica desta tipologia construtiva, foi possível observar o comportamento expectável dos edifícios face a diversas acções sísmicas. Pode-se assim afirmar que, de uma forma geral, esta tipologia construtiva possui poucas qualidades para conseguir resistir à acção sísmica. Embora alguns dos edifícios consigam suportar as acções sísmicas de referência propostas no EC8 [8], os danos previstos são demasiado extensos e o seu reaproveitamento pós-sismo é praticamente nulo.

Independentemente da acção sísmica em causa, e tendo em conta apenas o comportamento global dos edifícios obtido por análise das respectivas curvas de capacidade, apresentam-se em seguida alguns dos danos mais observados nesta tipologia, bem como algumas observações de carácter global. Na Figura 8 podem-se observar os danos expectáveis típicos de um edifício de médio porte. Nos casos em que o piso térreo é constituído por lojas, e sendo este composto em grande parte por um sistema de vigas e pilares em betão armado, o comportamento do edifício é alterado, conforme se pode verificar na Figura 9.

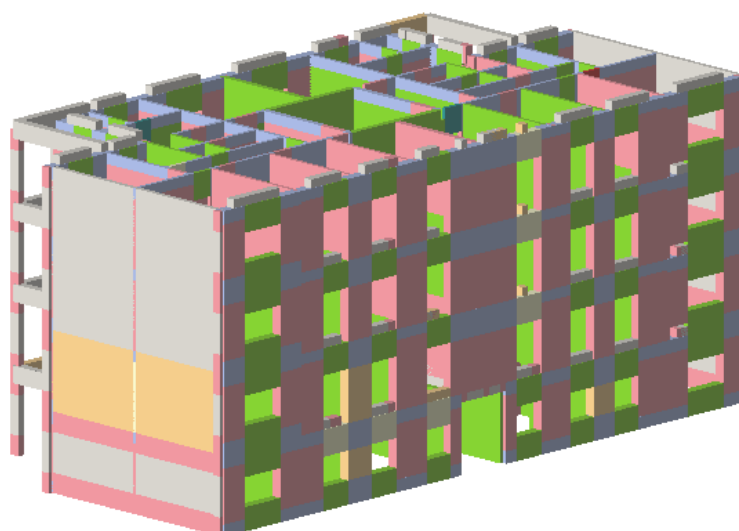


Figura 8. Danos expectáveis para um edifício de “placa” de médio porte, considerando a acção sísmica a actuar segundo a direcção longitudinal.

Legenda:	
Elementos parede:	Elementos em betão armado:
Ausência de dano ou dano elástico	Ausência de dano ou dano elástico
Dano plástico por corte	Colapso por corte
Colapso por corte	Dano plástico por flexão
Dano plástico por flexão	Colapso por flexão
Colapso por flexão	Colapso por compressão
Colapso por compressão	Colapso por tracção
Colapso por tracção	
Colapso em fase elástica	

Da análise efectuada aos diversos edifícios, pertencentes às diferentes classes altimétricas (pequeno, médio e grande porte), foi possível constatar que, nos elementos em betão armado:

- As paredes de empena apresentam danos consideráveis, na sua maioria provocados por colapso do(s) elemento(s) por corte. Este colapso é mais frequente ao nível do 2º piso elevado, embora possa ser generalizado a todos os pisos, e é mais habitual nas paredes constituídas por betão armado. Geralmente, os dois primeiros pisos de cada edifício são os mais afectados, apresentando maiores valores de dano e/ou colapso;
- Os pilares em betão armado apresentam danos por flexão nas extremidades, ao longo de toda a sua extensão, desde o piso térreo até ao último piso elevado. Nos edifícios constituídos por estrutura porticada em betão armado no piso térreo, o colapso por tracção dos pilares exteriores existentes neste piso é observado com frequência, supondo-se ser provocado pela descontinuidade estrutural e de rigidez em relação aos pisos superiores;
- As vigas em betão armado apresentam, de uma forma geral, poucos danos e raras situações de colapso;

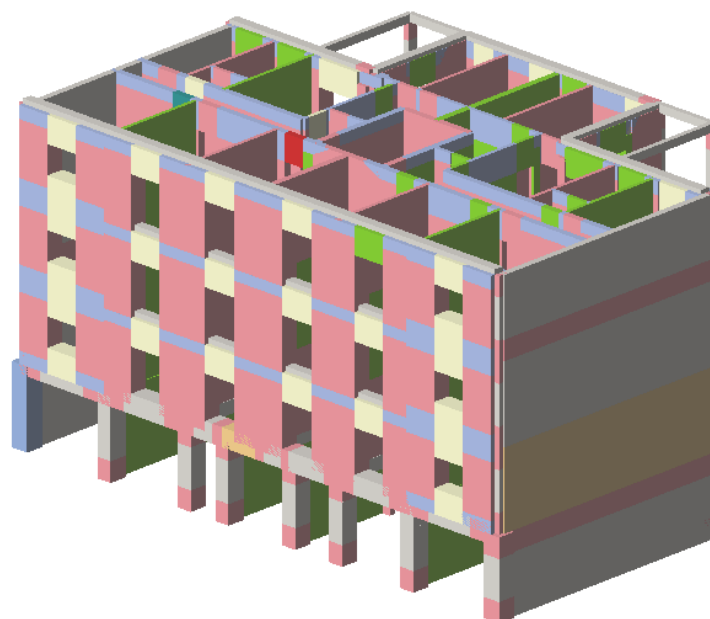


Figura 9. Danos expectáveis para um edifício de “placa” de médio porte, com lojas no piso térreo, considerando a acção sísmica a actuar segundo a direcção longitudinal.

Legenda:	
Elementos parede:	Elementos em betão armado:
Ausência de dano ou dano elástico	Ausência de dano ou dano elástico
Dano plástico por corte	Colapso por corte
Colapso por corte	Dano plástico por flexão
Dano plástico por flexão	Colapso por flexão
Colapso por flexão	Colapso por compressão
Colapso por compressão	Colapso por tracção
Colapso por tracção	Colapso em fase elástica
Colapso em fase elástica	

No que respeita às paredes, foi possível verificar que:

- O tipo de danos observado em paredes é independente do material utilizado para a sua construção, sendo o mesmo determinado pelo tipo, número e localização dos elementos em betão armado;
- As paredes exteriores apresentam maior grau de dano que as interiores;
- As paredes interiores apresentam frequentemente dano provocado por flexão;
- O colapso de paredes, exteriores ou interiores, por flexão não é muito habitual;
- O estado de dano de colapso provocado por tracção é mais frequente ao nível dos pisos térreos;
- As paredes exteriores apresentam um padrão de danos frequente, esquematizado na Figura 10.

Colapso por tracção	Colapso ou dano por corte	Colapso por tracção
Dano por flexão	Abertura	Dano por flexão
Colapso por tracção	Colapso ou dano por corte	Colapso por tracção

Figura 10. Padrão de dano observado em paredes exteriores.

4. CONCLUSÕES

A maioria dos edifícios de “placa” construídos em Portugal possui, no máximo, 5 a 6 pisos elevados. Possuem lajes em betão armado com cerca de 10 cm de espessura, paredes em alvenaria de pedra, tijolo cerâmico ou blocos de betão, e alguns elementos em betão armado (lintéis, vigas e pilares). Verifica-se homogeneidade em planta, mas heterogeneidade em altura, nomeadamente no que respeita às dimensões e armaduras dos pilares e à rigidez dos pisos. O dimensionamento verificado nas vigas garante-lhes capacidade resistente para as acções a que estão sujeitas, no entanto os pilares apenas possuem características para resistir às acções verticais.

Após modelação e realização de análise *pushover* a um grupo de edifícios seleccionado para o efeito, procedeu-se à análise de danos expectáveis para os mesmos sob a acção de forças horizontais. Esta análise permitiu realizar um estudo da vulnerabilidade sísmica desta tipologia construtiva e a apresentação dos danos sísmicos observados com maior frequência, em elementos de parede e em elementos de betão armado, podendo-se concluir que:

- O tipo de danos observado em paredes é independente do material utilizado para a sua construção, sendo o mesmo determinado pelo tipo, número e localização dos elementos existentes em betão armado;
- As paredes exteriores apresentam um padrão de dano característico e independente do material utilizado;
- A fraca armadura que constitui os pilares é determinante para a redução da capacidade resistente global do edifício;
- A não homogeneidade em altura verificada nesta tipologia construtiva, bem como as diferenças de rigidez observadas de piso para piso, são as principais causas de instabilidade estrutural e de perda de capacidade resistente global do edifício face à acção sísmica, com o consequente agravamento de danos observados.

Globalmente, verifica-se que esta tipologia construtiva não possui capacidade resistente global suficiente para suportar acções sísmicas de magnitudes elevadas.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Pinho, *Paredes de edifícios antigos em Portugal*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, (2000).
- [2] Sotto-Mayor, M. L., *Risco sísmico em Portugal Continental*, Dissertação para obtenção do grau de doutor em Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico, Lisboa, (2006).
- [3] REBAP, *Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado*, Decreto-lei nº 349-C/83, de 30 de Julho (1983).
- [4] RSA, *Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes*, Decreto-lei nº 235/83, de 31 de Maio (1983).
- [5] P. Lamego, P. B. Lourenço e M. L. Sousa, *Seismic vulnerability: from building evaluation to a typology generalization*. 15WCEE – 15th World Conference on Earthquake Engineering, 24 a 28 de Setembro, Lisboa (2012).
- [6] Programa de cálculo automático de estruturas *3Muri Professional*, S.T.A. DATA, Torino, Itália, www.stadata.com.
- [7] EN 1998 – 1: 2004. *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance*. General rules, seismic actions and rules for buildings. CEN, Brussels (2004).
- [8] NP EN 1998 – 1: 2010. Norma Portuguesa, *Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos*. Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios. IPQ, Lisboa (2010)