

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DAS PAREDES DE FACHADA DE EDIFÍCIOS TRADICIONAIS DE ALVENARIA

FERREIRA, T.

Bolseiro
Universidade de Aveiro
Aveiro - Portugal

VICENTE, R.

Professor Auxiliar
Universidade de Aveiro
Aveiro - Portugal

VARUM, H.

Professor Associado
Universidade de Aveiro
Aveiro - Portugal

COSTA, A.

Professor Catedrático
Universidade de Aveiro
Aveiro - Portugal

MENDES DA SILVA, J.A.R.

Professor Associado
Universidade de Coimbra
Coimbra - Portugal

SUMÁRIO

Nas últimas décadas, têm vindo a ser desenvolvidos vários trabalhos no domínio da avaliação da vulnerabilidade sísmica das construções tradicionais de alvenaria. No entanto, a grande maioria das metodologias de avaliação propostas e aplicadas têm-se focado no comportamento global do edifício, não dando sempre a devida atenção aos mecanismos locais, como é o caso das paredes de fachada.

Neste artigo propõe-se uma metodologia simplificada para a avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de edifícios tradicionais de alvenaria. Esta metodologia é aplicada às fachadas de uma vasta família de edifícios da Baixa de Coimbra. Os resultados obtidos são apresentados e analisados, tirando partido do apoio de uma ferramenta integrada em SIG.

Com base em informação relativa aos danos observados em edifícios tradicionais após o sismo que abalou em Abril de 2009 a região Italiana de Abruzzo, desenvolveu-se e calibrou-se uma curva analítica para estimar o grau de dano médio para as paredes de fachada. Definida a função de vulnerabilidade para fachadas, construiu-se então uma metodologia para elaboração de cenários de dano. Para exemplificar a aplicabilidade dos resultados obtidos, elaborou-se uma proposta de caminhos de evacuação de suporte ao planeamento de uma situação de emergência pós-sismo na Baixa de Coimbra.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Proposta

A metodologia do índice de vulnerabilidade sísmica desenvolvida e apresentada neste artigo, baseia-se essencialmente em observações de dano pós-sismo e na identificação das características construtivas que mais influenciam o desenvolvimento de dano em paredes de fachada em alvenaria. A avaliação do risco sísmico de uma determinada área urbana é função de três variáveis: a perigosidade sísmica da região onde se insere, a vulnerabilidade dos edifícios que a compõem e o nível de exposição. Nesta metodologia holística utilizada na definição do risco sísmico, a avaliação da vulnerabilidade sísmica dos edifícios assume uma elevada importância, não só devido às consequências físicas decorrentes da eventual ocorrência de um evento sísmico, mas igualmente pelo potencial científico que este aspecto apresenta.

O desenvolvimento de estudos de avaliação da vulnerabilidade sísmica de centros urbanos deve ser conduzida com o intuito de identificar as principais fragilidades dos edifícios e de procurar minimizar a sua vulnerabilidade sísmica, reduzindo desta forma o risco. Assim, no âmbito do processo de reabilitação urbana do núcleo urbano antigo da cidade de Coimbra, desenvolveu-se uma campanha geral de identificação e inspeção deste conjunto edificado. O principal objectivo deste estudo passou pela apresentação e discussão de estratégias e metodologias adoptadas na avaliação da vulnerabilidade sísmica de paredes de fachada em alvenaria e pelo desenvolvimento de cenários de dano, através da utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

1.2. Método do índice de vulnerabilidade sísmica

O índice de vulnerabilidade sísmico proposto é calculado através de uma soma ponderada de 13 parâmetros (ver Tabela 1), classificáveis em 4 classes de vulnerabilidade crescente: A, B, C e D. Cada um destes parâmetros avalia um aspecto que influencia a resposta sísmica das paredes de fachada, definindo a classe de vulnerabilidade através da análise de diferentes propriedades geométricas, mecânicas e de estado de conservação [1]. Subsequentemente, a cada um dos 13 parâmetros de avaliação foi associado um peso que pode assumir o valor de 0.5, para os parâmetros menos importantes na resposta sísmica da fachada ou, de 0.75, para os mais importantes.

O índice de vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada, I_{vf}^* , é dado por:

$$I_{vf}^* = \sum_{i=1}^{13} C_i \times p_i \quad (1)$$

Assim, o valor de I_{vf}^* pode variar entre 0 e 350. Com o objectivo de facilitar a sua leitura, este índice foi posteriormente normalizado através de uma soma ponderada normalizada, passando a variar entre 0 e 100. Assim, quanto menor o valor obtido para o índice de vulnerabilidade, I_{vf} , menor a vulnerabilidade sísmica da fachada. Tal como será descrito e apresentado na Secção 3, este índice de vulnerabilidade pode ser usado na estimativa de dano em paredes de fachada, para uma determinada intensidade sísmica.

Tabela 1 - Parâmetros e pesos associados ao cálculo do índice de vulnerabilidade da fachada, I_{vf}

PARÂMETROS	Classe C_{vi}				Peso	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE	
	A	B	C	D	p_i		
Grupo 1. Geometria e aberturas							
P1	Geometria da fachada	0	5	20	50		0.50
P2	Esbelteza máxima	0	5	20	50		0.50
P3	Área de aberturas	0	5	20	50		0.50
P4	Desalinhamento de aberturas	0	5	20	50	0.50	$I_{vf}^* = \sum_{i=1}^{13} C_{vi} \times p_i$
Grupo 2. Materiais e estado de degradação							
P5	Qualidade dos materiais	0	5	20	50	0.75	
P6	Estado de conservação	0	5	20	50	0.75	
Grupo 3. Ligação a outros elementos estruturais							
P7	Ligação às paredes ortogonais	0	5	20	50		0.50
P8	Ligação aos diafragmas horizontais	0	5	20	50		0.50
P9	Impulsos da cobertura	0	5	20	50	0.50	Índice de vulnerabilidade normalizado $0 \leq I_{vf} \leq 100$
Grupo 4. Elementos ligados à fachada							
P10	Elementos não-estruturais	0	5	20	50	0.50	
P11	Elementos beneficiadores do comportamento	0	5	20	50	0.50	
P12	Interação entre fachadas adjacentes	0	5	20	50	0.50	
P13	Tipo e massa das estruturas dos pavimentos	0	5	20	50	0.50	

Como se observa na Tabela 1, os parâmetros P5 e P6 assumem maior influência no cálculo do índice de vulnerabilidade sísmica da fachada, I_{vf} . Estes parâmetros avaliam respectivamente, o tipo e a natureza do material que constitui a alvenaria da parede de fachada e o seu estado de conservação.

2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA DE PAREDES DE FACHADA

2.1. Caso de estudo

Nesta Secção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia desenvolvida e que aqui se apresenta. Esta metodologia foi aplicada a um grupo de 672 edifícios (inseridos num grupo maior de 803), distribuídos ao longo do centro histórico urbano da cidade de Coimbra, e agrupados em oito subzonas distintas, Z1 a Z8 (Figura 1).

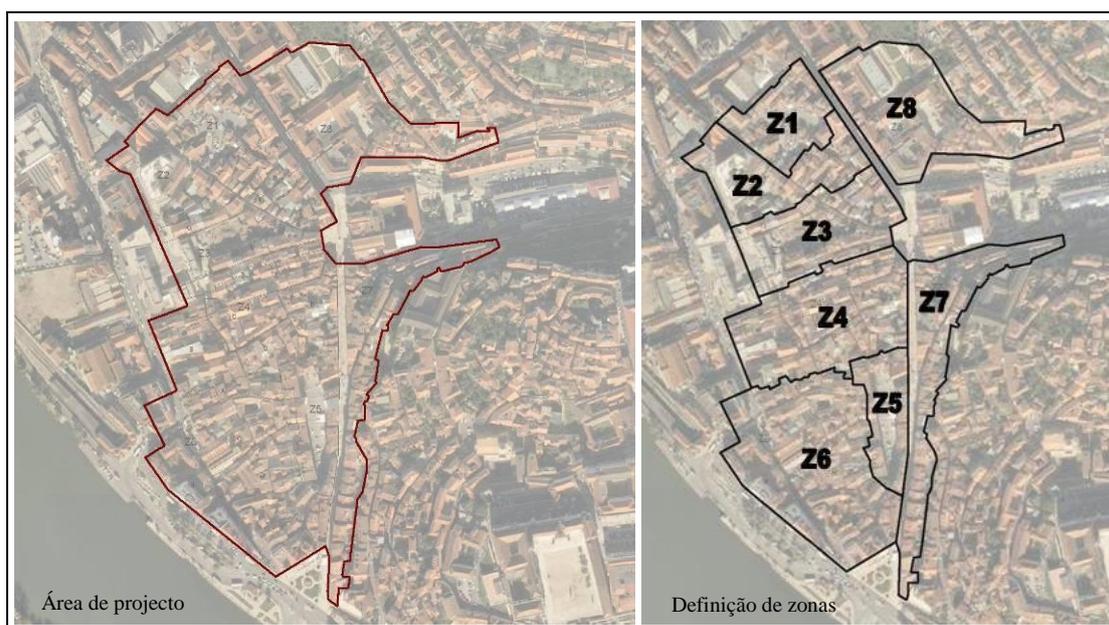


Figura 1: Definição da área de projecto e zonamento do território

Assim, a avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada foi realizada em duas fases distintas. Na primeira fase, procedeu-se à aplicação do índice de vulnerabilidade, I_{vf} , aos edifícios para os quais se dispunha de toda a documentação detalhada, necessária à aplicação da metodologia: plantas de arquitectura através das quais fosse possível obter toda a informação necessária à avaliação dos parâmetros geométricos (P1, P2, P3 e P4) e documentação fotográfica suficiente à avaliação dos restantes parâmetros. Avaliaram-se nesta fase 330 paredes de fachada, num universo de 803 edifícios. Na segunda fase, de forma a poder avaliar os edifícios para os quais não existe, ou não foi possível obter, a informação geométrica necessária, adoptou-se uma metodologia de avaliação expedita, assente apenas em documentação fotográfica, (342 paredes de fachada).

Os restante 131 edifícios, por serem estruturas de betão armado, ou por se encontrarem já demolidos ou em estado de ruína, não são avaliáveis através da metodologia que aqui se apresenta.

2.2. Apresentação e discussão dos resultados

Avaliado o conjunto de edifícios de alvenaria presentes no centro histórico urbano da cidade de Coimbra, obtiveram-se os seguintes resultados: para o primeiro grupo de 330 edifícios, a aplicação detalhada da metodologia resultou num valor médio do índice de vulnerabilidade sísmica de 36.52. Para o segundo grupo de edifícios, avaliados de forma não detalhada, este valor médio do índice de vulnerabilidade sofreu um ligeiro

acréscimo, para 37.08. O valor do desvio padrão, $\sigma_{I_{vf}}$, associado à distribuição dos resultados obtidos através avaliação detalha dos edifícios, foi de 10.21. Como seria de esperar, considerando os resultados provenientes da avaliação não detalhada dos edifícios, o valor do desvio padrão sofreu uma redução de cerca de 17%, fixando-se em 8.68.

A Figura 2 apresenta a distribuição do índice de vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada, calculado para 672 edifícios (resultados globais), assim como a curva de distribuição normal com melhor ajuste ao conjunto dos resultados obtidos.

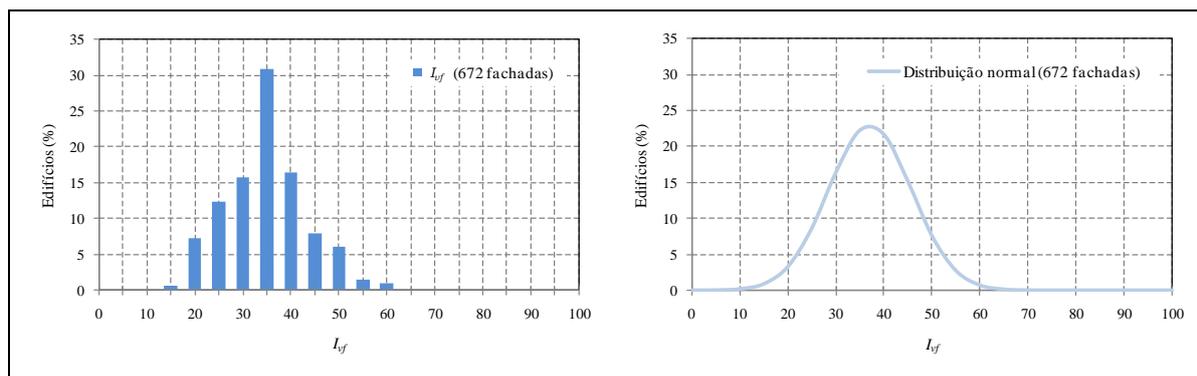


Figura 2: Distribuições do índice de vulnerabilidade, I_{vf} : histograma e curva de distribuição normal

O valor médio do índice de vulnerabilidade ($I_{vf,médio}=37.08$) obtido para as paredes de fachada do centro histórico da Cidade de Coimbra sugere que a vulnerabilidade sísmica destes elementos é moderadamente elevada. Cerca de 33% das fachadas avaliadas apresentam um valor de I_{vf} superior a 40, enquanto cerca de 16.5% apresentam mesmo um valor superior a 45. Os valores extremos, máximo e mínimo, obtidos foram 64.09 e 11.36, respectivamente.

2.3. Integração dos resultados numa ferramenta SIG

Como forma de otimizar a gestão da informação resultante da aplicação da metodologia apresentada, criou-se uma base de dados relacional à qual foi associado um largo conjunto de informação referente ao edificado avaliado. A ferramenta SIG desenvolvida permite cruzar diferentes resultados e propriedades dos edifícios, nomeadamente, entre o índice de vulnerabilidade de um determinado edifícios e as características da sua fachada. Esta ferramenta SIG permite apresentar os resultados espaciais de duas formas distintas: numa vista global de toda a área em estudo ou, alternativamente, numa vista local de determinada subzona.

Dentro da ferramenta SIG programou-se ainda um conjunto de comandos que permite um fácil acesso a toda a informação contida na base de dados criada, assim como aos algoritmos desenvolvidos e implementados na estimativa de danos e perdas. A Figura 3 apresenta a distribuição espacial do índice de vulnerabilidade sísmica de todas as paredes de fachada avaliadas neste estudo. Através da análise da Figura 3, é possível identificar quais os edifícios que se apresentam sísmicamente mais vulneráveis, assim como as áreas – zonas ou quarteirões – que apresentam maior concentração de edifícios com elevada vulnerabilidade sísmica.

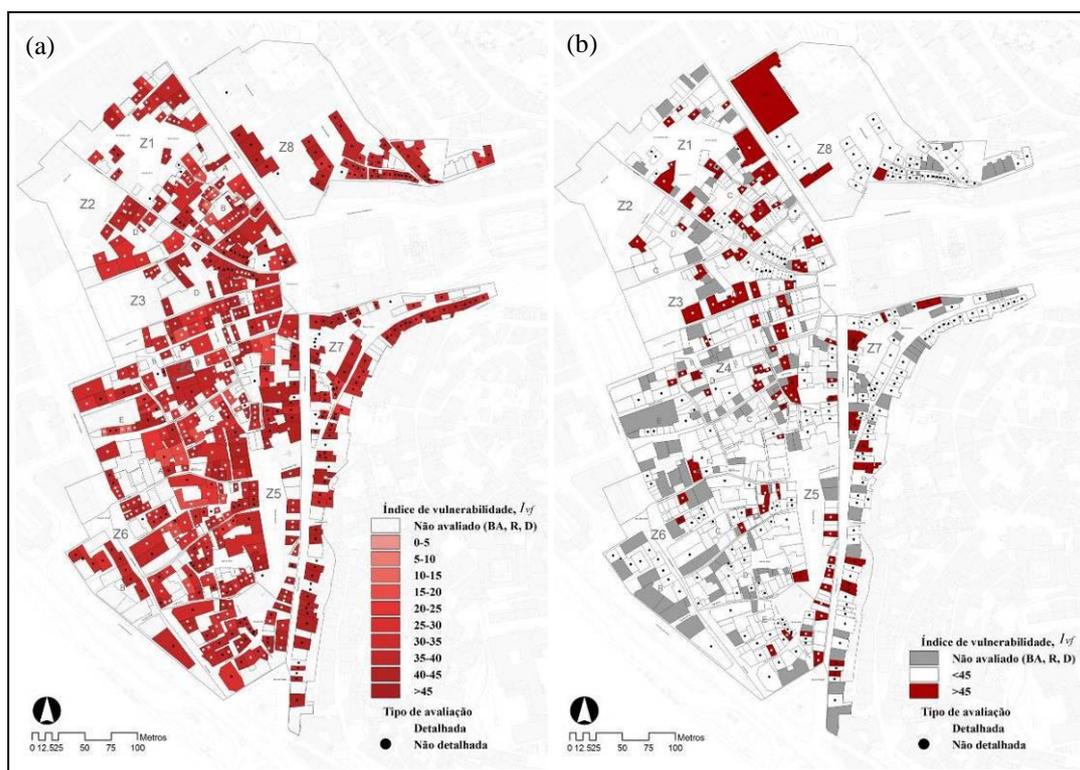


Figura 3: Mapeamento da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada:
 (a) Distribuição global do índice de vulnerabilidade; (b) Identificação das fachadas com $I_{vf} > 45$

3. DISTRIBUIÇÃO E CENÁRIOS DE DANO

Uma vez aplicada a metodologia do índice de vulnerabilidade sísmica ao conjunto dos edifícios do centro histórico da cidade de Coimbra, foi possível estimar o grau de dano expectável para diferentes níveis de intensidade sísmica. No entanto, ao contrário do que acontece para os edifícios, não existiam curvas de vulnerabilidade sísmica desenvolvidas e calibradas especificamente para paredes de alvenaria, que permitissem correlacionar a severidade de um evento sísmico (European Macroseismic Scale, I_{EMS-98} [2]) com o grau de dano médio instalado, μ_D [3, 4].

Com base em informação de dano pós-sismo recolhida após o sismo que atingiu em Abril de 2009 a região Italiana de Abruzzo, a metodologia apresentada foi testada e calibrada através da sua aplicação a um grupo representativo de edifícios antigos de alvenaria. Através desta análise foi possível desenvolver curvas que correlacionam o índice de vulnerabilidade calculado, I_{vf} , a intensidade macrossísmica registada (de acordo com EEFIT [5] e baseada na EMS-98 [2]) e o dano observado. Como foi já referido anteriormente, esta análise foi aplicada a um grupo de edifícios representativos, distribuídos em três zonas com diferentes intensidades macrossísmicas: 4 edifícios localizados em Onna ($I_{EMS-98}=IX$), 7 edifícios localizados entre as cidades de Áquila e Paganica ($I_{EMS-98}=VIII$) e os restantes 6 edifícios localizados em Poggio di Roio e Monticchio ($I_{EMS-98}=VII$).

Após o cálculo do índice de vulnerabilidade sísmica dos edifícios seleccionados, estimou-se um grau de dano médio, μ_D , variável entre 1 e 5, para cada uma das fachadas (de acordo com EMS-98 [2]). O valor médio obtido para o índice de vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada, I_{vf} , foi de 28.6. No entanto, tendo em conta que a descrição de dano fornecida pela EMS-98 se aplica unicamente a edifícios, antes da sua aplicação às paredes de fachada, foi necessário proceder ao reajuste de cada um dos seus cinco níveis de dano. A Tabela 2 apresenta as classificações de grau de dano médio e as suas respectivas descrições, adaptadas e utilizadas na análise das paredes de fachada.

Tabela 2 - Graus de dano médio adaptados à avaliação das paredes de fachada [2]

Grau de dano	Descrição
 Grau 1: Sem dano	Sem dano ou com a presença de fissuração localizada de muito pequena amplitude ($\approx 1\text{ mm}$)
 Grau 2: Dano moderado	Fissuração concentrada na zona dos vãos; desligamentos localizados do reboco
 Grau 3: Dano extensivo	Fissuração diagonal de grande amplitude; desligamento e destacamento generalizado do reboco
 Grau 4: Dano severo	Colapso parcial da parede de fachada (fissuração diagonal de corte, desagregação, etc.)
 Grau 5: Colapso	Colapso total da fachada, no seu plano ou para fora do plano

Associando o valor médio obtido para o índice de vulnerabilidade das paredes de fachada ($I_{vf,médio}=28.6$) com diferentes graus de dano, para cada uma dos três intensidades sísmicas consideradas (VII, VIII e IX), foi possível obter uma primeira aproximação de uma curva de vulnerabilidade capaz de correlacionar intensidades macrosísmicas, I_{EMS-98} com graus de dano médio, μ_D . A Figura 4 apresenta a aproximação obtida para o valor médio do índice de vulnerabilidade, $I_{vf,médio}=28.6$, através do ajuste de uma curva polinomial de terceiro grau.

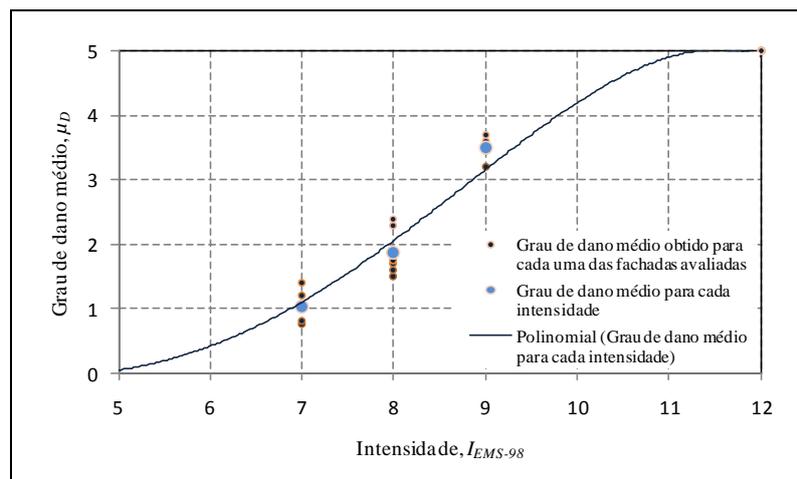


Figura 4: Curva polinomial de melhor ajuste aos valores de dano médio obtidos

Os três valores assinalados a vermelho no gráfico da Figura 4, foram obtidos através da média dos valores resultantes da aplicação do índice de vulnerabilidade a todas as fachadas consideradas, para intensidades VII, VIII e IX. Como ponto inicial e final da função, definiram-se ainda mais dois valores, o primeiro correspondente a um grau de dano médio $\mu_D=0$ (sem dano) e o segundo, a um grau de dano médio $\mu_D=5$ (colapso).

De forma a estabelecer a correlação entre o grau de dano médio e a intensidade sísmica, e tirando partido da semelhança clara entre a curva obtida (Figura 4) e as curvas propostas por outros autores para edifícios de alvenaria, aproximou-se a sua expressão analítica à usada e adaptada por Vicente [4] para edifícios. Este autor, partindo da metodologia macrosísmica [6], na qual a vulnerabilidade é expressa por um valor numérico – *vulnerability index* – variável entre 0 e 1, definiu uma função de vulnerabilidade para o edifício, traduzida por uma expressão semi-empírica (Equação (2)), que permite estimar o grau de dano médio, μ_D , em edifícios de alvenaria [1].

$$\mu_D = 2.5 \times \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 \times V - 13.1}{Q} \right) \right]; 0 \leq \mu_D \leq 5 \quad (2)$$

onde: I representa a intensidade macrossísmica, V , o índice de vulnerabilidade (variável entre 0 e 1) e Q , o factor de ductilidade (variável entre 1 e 4), que permite entrar em linha de conta com a ductilidade de uma determinada tipologia construtiva. O valor de V define a posição da curva de vulnerabilidade, enquanto o valor de Q , define o seu declive, isto é, o acréscimo de dano médio em função do acréscimo de intensidade sísmica. Segundo Vicente [7], o valor do índice de vulnerabilidade sísmica das fachadas, I_{vf} , é então relacionável com o índice de vulnerabilidade, V , referente à metodologia macrossísmica, através da Equação (3).

$$V = 0.592 + 0.0057 \times I_{vf} \quad (3)$$

Ajustando a curva polinomial apresentada na Figura 4 à expressão analítica dada pela Equação (2), obteve-se uma nova expressão semi-empírica (Equação (4)) aplicável na estimativa do grau de dano médio de paredes de fachada. Note-se que esta expressão, na sua forma actual, resulta de várias calibrações e reajustamentos, baseados em observação de dano em paredes de fachada após o sismo de Abruzzo.

$$\mu_D = 1.51 + 2.5 \times \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 5.25 \times V - 11.6}{Q} \right) \right]; 0 \leq \mu_D \leq 5 \quad (4)$$

Para o presente trabalho utilizou-se um factor de ductilidade, Q , igual a 2.0. A escolha deste valor teve por base a melhor aproximação entre obtida entre o valor de dano determinado através da curva de dano médio, μ_D , e as já referidas observações de dano pós-sismo. A Equação (3), que relaciona I_{vf} e V , mantém-se válida nesta nova abordagem.

A Figura 5 apresenta o confronto entre a curva de vulnerabilidade desenvolvida para edifícios e a curva de vulnerabilidade aqui proposta para paredes de fachada, dadas por um valor médio do índice de vulnerabilidade igual a 28.6.

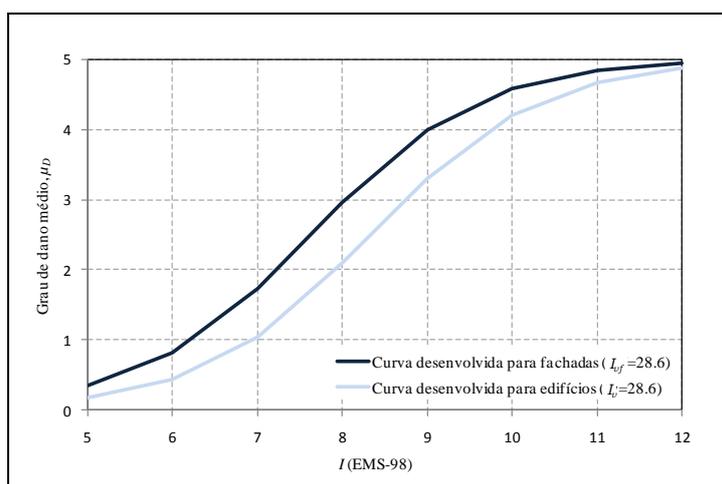


Figura 5: Confronto entre as curvas de grau de dano médio, μ_D , desenvolvidas para edifícios e para fachadas

Com base em eventos sísmicos recentes, observa-se que o grau de dano médio instalado nas paredes de fachada, considerando a mesma intensidade sísmica, é tendencialmente superior ao grau de dano médio instalado nos edifícios. Este facto permite justificar a translação vertical as curvas de vulnerabilidade apresentadas na Figura 5.

Na Figura 6 apresentam-se as curvas de vulnerabilidade sísmica (I_{EMS-98} versus μ_D), obtidas através da Equação (4), para o valor médio estimado do índice de vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada do centro histórico de Coimbra ($I_{vf,médio}=37.08$). Na mesma figura, apresentam-se ainda outros valores característicos da distribuição gaussiana, definidos pela adição e subtração, simples ou dupla, do valor de desvio padrão obtido na distribuição do índice de vulnerabilidade para as 672 fachadas avaliadas ($\sigma_{IVF}=8.68$).

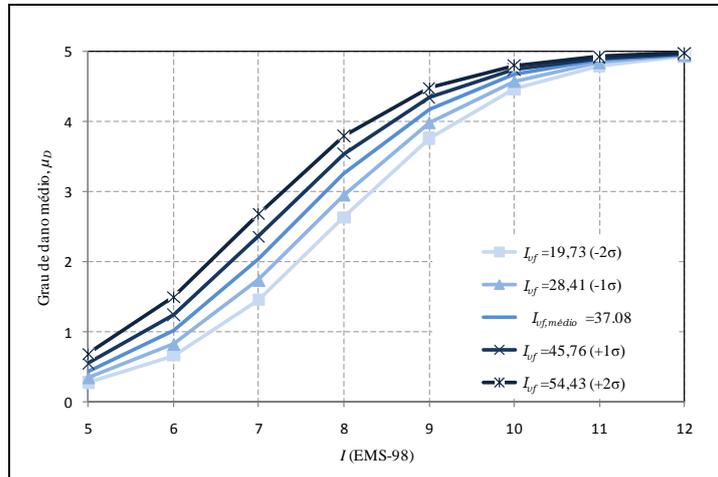


Figura 6: Curvas de vulnerabilidade para as paredes de fachada da Baixa de Coimbra

Através da ferramenta SIG, é possível desenvolver cenários de dano e de perda associados a cada uma das fachadas avaliadas. A Figura 7 apresenta cenários de dano obtidos para intensidades sísmicas de VII e VIII, correspondentes às intensidades históricas máximas no distrito de Coimbra, registadas durante o sismo de 1755.

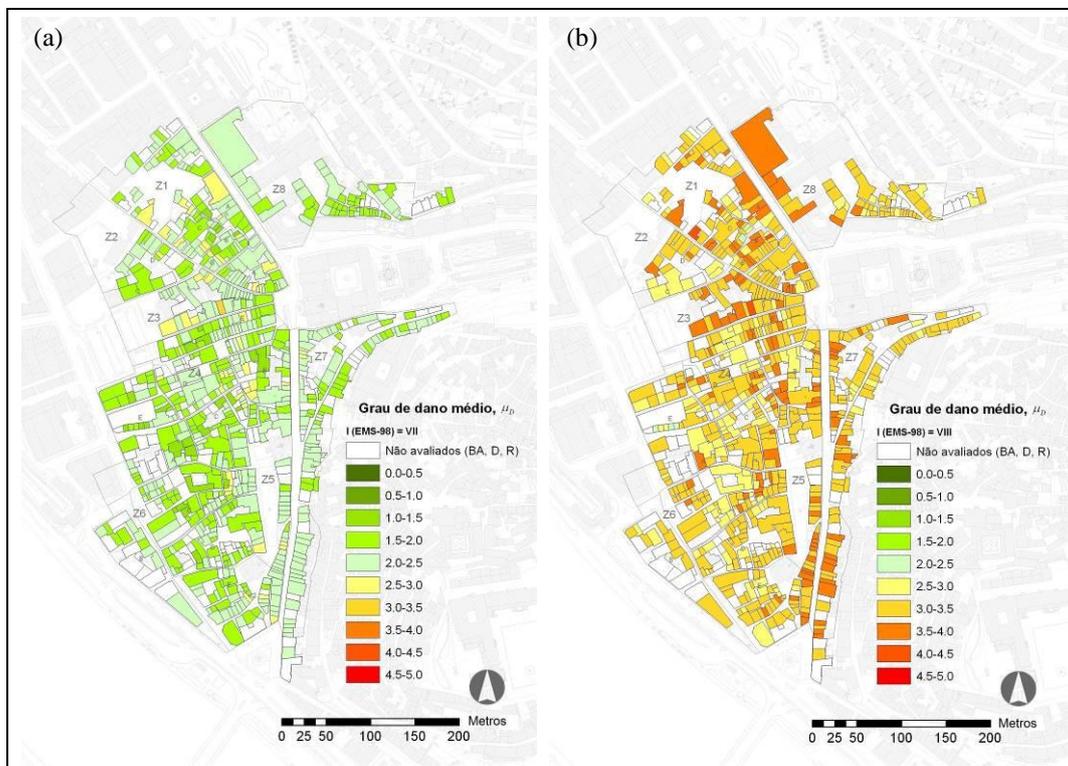


Figura 7: Cenários de dano para $I_{EMS-98}=VII$ e $I_{EMS-98}=VIII$

As distribuições de dano nas fachadas da Baixa de Coimbra apresentam valores entre 1.21 e 3.03, para um cenário sísmico de intensidade $I_{EMS-98}=VII$, e entre 2.32 e 4.04 para uma intensidade $I_{EMS-98}=VIII$. Assim, para um cenário de intensidade sísmica $I_{EMS-98}=VIII$, estima-se que a maioria das fachadas avaliadas apresente graus de dano médio, $\mu_D \approx 3$. Este resultado indica que uma percentagem significativa das fachadas avaliadas apresentaria graus de danos elevados ($3 \leq \mu_D \leq 4$), podendo inclusivamente registar-se algumas situações de colapso iminente.

4. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA, PROTECÇÃO E SOCORRO

Tirando partido dos cenários de dano desenvolvidos e apresentados na Secção 3, foi possível a identificação das áreas mais vulneráveis e conseqüentemente, com maior potencial de dano, para diferentes intensidades sísmicas. Para além disso, este tipo de resultado permite ainda identificar quais as fachadas que apresentam maior probabilidade de colapso, estimado desta forma quais os edifícios que podem potencialmente, no caso da ocorrência de um sismo, vir a ficar isolados. Assim, e em última instância, é possível estimar quais as vias que poderão, ou não, constituir caminhos de evacuação.

A Figura 8 identifica as fachadas que, em consequência de um evento sísmico de intensidade $I_{EMS-98}=VIII$, apresentam um grau de dano médio igual ou superior a 3.5. Embora este nível de dano médio não conduza normalmente ao colapso total da fachada, poderão ocorrer situações de desagregação material, ou mesmo pequenos colapsos parciais, responsáveis pela obstrução total ou parcial da via de circulação adjacente.

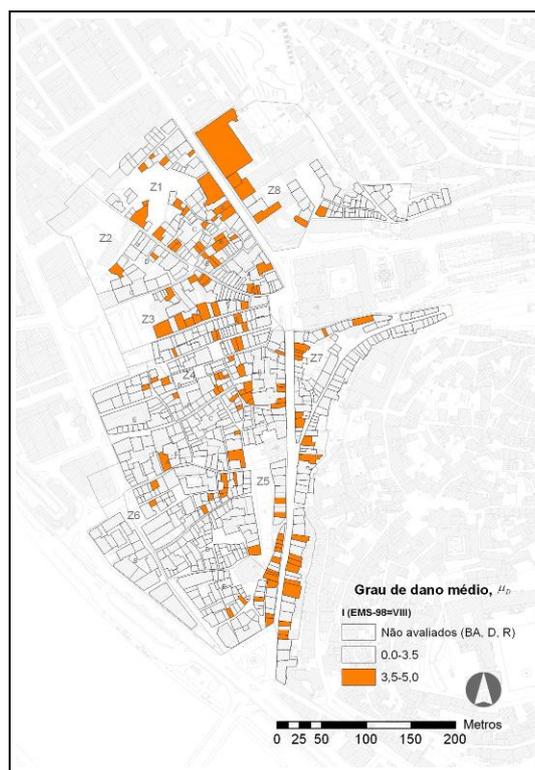


Figura 8: Paredes de fachada com grau de dano médio, μ_D , igual ou superior a 3.5, para $I_{EMS-98}=VIII$

Estabelecendo um conjunto de critérios dimensionais e de acessibilidade, é possível aferir se um determinado arruamento poderá constituir um caminho de evacuação, assim como determinar a localização ideal dos centros de operações, a partir dos quais se desenvolverão todas as acções de socorro. Neste caso de estudo, consideraram-se vias obstruídas aqueles que, não possuindo acessos alternativos, continham a montante e a jusante do seu traçado, pelo mesmo uma fachada com grau de dano médio igual ou superior a 3.5. Estas vias encontram-se, na Figura 9, demarcadas a vermelho. Embora nesta primeira fase, as restantes vias tenham sido consideradas desobstruídas, houve ainda a necessidade de as distinguir entre duas categorias: na primeira,

integraram-se as vias que, obedecendo a uma largura mínima de 4 m, garantiam a passagem dos meios de socorro (ambulâncias, viaturas de bombeiros, etc.). Na segunda categoria, integraram-se as restantes vias para as quais apenas o acesso pedonal se encontra garantido.

A Figura 9 apresenta um possível traçado de caminhos de evacuação para a Baixa de Coimbra, tendo por base o cenário de dano médio apresentado na Figura 8 ($I_{EMS-98}=VIII$).

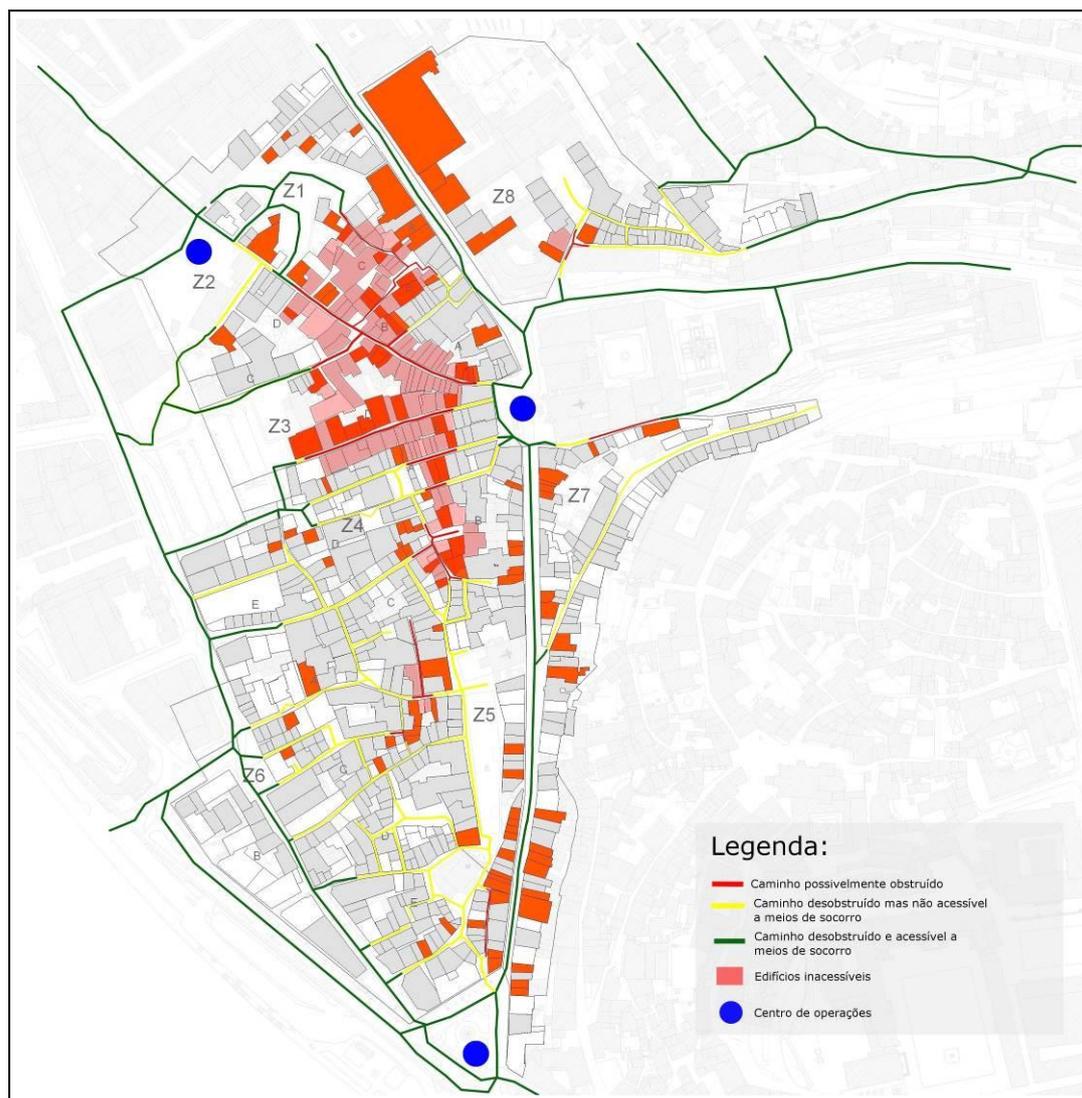


Figura 9: Definição de possíveis caminhos de evacuação para a Baixa de Coimbra

A localização dos centros de operações foi seleccionada segundo critérios de acessibilidade, dando preferência a zonas abertas, servidas por vias desobstruídas, e com acesso privilegiado às principais artérias da cidade de Coimbra.

Finalmente, destaque-se o papel que este tipo de ferramenta poderá desempenhar na preparação e planeamento de estratégias de socorro pós-sismo, tais como o resgate e o reencaminhamento de pessoas e bens, promovendo uma maior articulação entre os vários organismos envolvidos neste tipo de acções (protecção civil, corporações de bombeiros, polícias, hospitais, etc.) [1].

5. CONCLUSÕES

A metodologia de avaliação da vulnerabilidade sísmica desenvolvida para paredes de fachada, revelou-se bastante assertiva na análise das características construtivas de edifícios antigos em alvenaria, permitindo obter resultados bastante fiáveis. O uso e a implementação do método de avaliação da vulnerabilidade sísmica, associado a uma metodologia macrossísmica, permitiu o desenvolvimento de cenários de dano aplicáveis na gestão e mitigação do risco sísmico, facilmente adaptáveis a outros centros urbanos antigos.

A análise da informação resultante da aplicação do índice de vulnerabilidade sísmica às paredes de fachada avaliadas, permitiu identificar quais os parâmetros que regem resposta sísmica das fachadas, assim como quantificar o seu peso na formulação do I_{vf} . De facto, uma avaliação rigorosa da vulnerabilidade sísmica dos edifícios existentes, acompanhada da implementação de intervenções de reforço apropriadas, poderá reduzir muito significativamente os níveis de dano físico e as perdas económicas em eventos sísmicos futuros.

A integração dos resultados numa ferramenta SIG constitui uma etapa fundamental na avaliação da vulnerabilidade à escala urbana, assumindo uma enorme utilidade na sua gestão e análise. A possibilidade de representar os resultados, associados a algoritmos probabilísticos, de forma espacial, faz do SIG uma ferramenta valiosa no apoio a estratégias de mitigação e de gestão do risco sísmico.

O conjunto de informação recolhida através de observações de dano pós-sismo na região de Abruzzo, permitiu o desenvolvimento e calibração de uma função de vulnerabilidade para paredes em fachada em alvenaria. Os resultados obtidos através da aplicação dessa função de vulnerabilidade permitiram a criação de cenários de dano, associados a diferentes intensidades sísmicas, utilizados posteriormente no traçado de caminhos de evacuação, assim como na identificação de algumas áreas urbanas particularmente vulneráveis.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Ferreira, T. (2009). Avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de edifícios em alvenaria. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- [2] Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Luxembourg: Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie.
- [3] Giovinazzi, S. and Lagomarsino S. (2006). Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* **4:4**, 415-443.
- [4] Vicente, R. (2008). Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- [5] EEFIT (2009). The L'Áquila, Italy earthquake of 6th April of 2009 – A preliminary field report by EEFIT.
- [6] Giovinazzi, S. (2005). The vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis. Ph.D Thesis of the doctoral course “Risk Management on the built environment” jointly organized by University of Florence and TU-Braunschweig.
- [7] Vicente, R.; Parodi, S.; Lagomarsino, S.; Varum, H.; da Silva, J.A.R. Mendes (2008). Seismic vulnerability assessment, damage scenarios and loss estimation – Case study of the old city centre os Coimbra, Portugal. *14th World Conference on Earthquake Engineering: Innovation Practice Safety*.