



IMPACTO DO RISCO SÍSMICO NO PREÇO DO IMOBILIÁRIO: UMA ANÁLISE DE PREFERÊNCIAS REVELADAS

João Fragoso Januário^a; Carlos Oliveira Cruz^b; Humberto Varum^c; Vítor Faria e Sousa^d

^aCERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, joaodfjanuario@tecnico.ulisboa.pt

^bCERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, oliveira.cruz@tecnico.ulisboa.pt

^cCONSTRUCT-LESE, FEUP, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, oliveira.cruz@tecnico.ulisboa.pt

^dCERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, vitor.sousa@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

A região de Lisboa apresenta uma suscetibilidade a eventos sísmicos bem conhecida e documentada. Aproximadamente 27,3% dos edifícios residenciais na Área Metropolitana de Lisboa foram construídos antes da implementação de regulamentações sísmicas. Esta percentagem aumenta para 63,9% se se considerar os edifícios residenciais exclusivamente no município de Lisboa. Apesar do risco reconhecido, observou-se recentemente uma significativa subida nos preços imobiliários em Lisboa, com investidores e residentes adquirindo propriedades a preços cada vez mais elevados, independentemente da sua vulnerabilidade sísmica. O mercado aparenta desconsiderar as potenciais consequências de um terramoto, sendo que, a larga maioria dos imóveis não possui seguro com cobertura de risco sísmico. Este estudo utiliza uma base de dados de 8 000 vendas de imóveis entre 2008 e 2018 e tem como objetivo investigar se os valores de mercado refletem uma preferência por propriedades menos vulneráveis a sismos. Para tal, utilizou-se uma regressão de *Fixed-Effects* com diferentes níveis de agregação de dados. A análise da literatura e os resultados indicam que o mercado não demonstra uma preferência clara por imóveis menos vulneráveis. Conclui-se que existe uma preferência por edificações mais novas ou renovadas, possivelmente menos vulneráveis, motivado não pela preocupação com a segurança, mas pelas amenidades oferecidas, como a condição do imóvel e a proximidade a áreas valorizadas.

Palavras-chave: Lisboa, mercado imobiliário, preços dos imobiliário, preferências reveladas, sismos



1 INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário global está avaliado em, aproximadamente, US\$ 217 biliões, constituindo quase 60% dos ativos globais totais (Leilani, 2017), com o mercado residencial formando o segmento mais representativo (75% do total). Lisboa, a capital portuguesa, tem observado um aumento significativo nos preços imobiliários na última década. Em 2012, foram transacionados 2,38 mil milhões de euros em imóveis residenciais na Área Metropolitana de Lisboa (AML), um valor que aumentou para 13,26 mil milhões de euros em 2022, representando um aumento de 557% em cerca de uma década. Por outro lado, Lisboa é uma região de risco sísmico moderado, tendo sido o palco de um dos mais catastróficos do século XVIII. Apesar do conhecido risco, cerca de 27,3% dos edifícios residenciais na AML foram construídos antes da implementação de quaisquer regulamentações sísmicas. Essa percentagem aumenta para 63,9% quando se consideram os edifícios residenciais exclusivamente no município de Lisboa (Borges et al., 2011; Costa et al., 2008).

O mercado imobiliário parece alheio ao risco com residentes e investidores a adquirirem propriedades a preços cada vez mais elevados. A falta de cobertura de seguro sísmico por muitos imóveis e o facto de elevada taxa de imóveis habitados pelos seus proprietários, aumentam a exposição do mercado, agravando ainda mais esse risco. De forma similar aos restantes países do sul da Europa, a compra da primeira casa é um cultural de passagem à fase adulta de qualquer cidadão, levando a que uma grande parte da riqueza das famílias portuguesas esteja concentrada em imóveis, predominantemente em residências primárias (INE, 2020). Na eventualidade da ocorrência de um evento semelhante ao de 1755, estudos anteriores estimam que o número de mortes na AML poderia ultrapassar 12 000, com vários milhares de edifícios severamente danificados ou colapsados (Costa et al., 2008). Como tal, seria de esperar que o aumento do risco fosse traduzido em descontos/prémios de mercado para os imóveis mais/menos vulneráveis.

Este estudo propõe-se a responder uma hipótese de pesquisa: "Os valores de mercado refletem uma preferência por propriedades menos vulneráveis a terremotos?". Para responder a esta questão, este artigo está estruturado da seguinte forma:

- O Capítulo 2 apresenta uma revisão abrangente da literatura, mostrando estudos anteriores sobre os efeitos da percepção de risco nos preços das habitações.
- O Capítulo 3 apresenta o estudo de caso, com uma visão geral do *stock* habitacional de Lisboa.
- O Capítulo 4 apresenta a metodologia seguida para responder à questão de investigação proposta. Uma base de dados contendo mais de 8 000 transações de 2008 a 2018 servirá de base para esta análise. Serão utilizados vários níveis de agregação para garantir a robustez dos resultados.
- O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos por cada modelo, seguidos de uma breve discussão à luz da revisão da literatura.
- No Capítulo 6 são apresentadas algumas considerações finais.

Este artigo visa contribuir para a literatura existente sobre os efeitos da percepção de risco nos preços do mercado imobiliário, especialmente na percepção dos *stakeholders* imobiliários sobre os riscos naturais. No final, deverá oferecer *insights* sobre o processo de tomada de decisão na ponderação dos riscos sísmicos em locais de moderada sismicidade. Tendo Lisboa como o caso de estudo, investidores e decisores políticos deverão ser capazes de beneficiar dos contributos desta investigação, permitindo a sua aplicação noutras geografias, em locais com o sul de Espanha, Roménia, Eslovénia ou qualquer outra região com risco sísmico moderado.



2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 NOTA METODOLÓGICA

A revisão de literatura foca-se, sensivelmente, nos últimos 20 anos, selecionando essencialmente artigos de 2000 a 2020, utilizando bases de dados como Web of Science, Science Direct, Elsevier e Google Scholar. Inicialmente, foram considerados artigos em inglês sobre risco no mercado imobiliário e risco de desastres naturais, principalmente em regiões de elevada atividade sísmica como os Estados Unidos, Irão, Japão e Turquia. Posteriormente, a análise centrou-se em Portugal e na Área Metropolitana de Lisboa, incluindo trabalhos em português sobre risco sísmico e o mercado imobiliário de Lisboa. Numa terceira fase foram estudadas as bases teóricas e empíricas mais relevantes na literatura sobre o processo de tomada de decisão, e em especial, em situações de risco. A revisão de literatura foi continuamente atualizada ao longo do estudo, proporcionando uma compreensão profunda sobre a reação dos mercados aos riscos naturais e a influência do contexto cultural e económico na perceção de risco, aplicando as melhores metodologias à realidade portuguesa, com foco no mercado e no parque habitacional de Portugal.

2.2 O IMPACTO DO RISCO SÍSMICO

Frequentemente, os desastres naturais resultam em mortes, danos à propriedade e destruição de bens materiais (Bennett, 1989; Beron et al., 1997; Badri et al., 2006; Lee et al., 2017). De acordo com a Base de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT)¹, os terremotos foram o terceiro desastre natural que causou os maiores danos materiais entre 1900 e 2021, ficando atrás apenas das tempestades e inundações. Neste período, os eventos sísmicos foram responsáveis por mais de 6 mil milhões de euros em danos e 1,6 milhão de mortes.

A China (652 419 mortes), o Haiti (222 593 mortes²) e a Indonésia (203 460 mortes) apresentam o maior número de mortes, enquanto o Japão (384 mil milhões de USD), a China (112 mil milhões) e a Itália (55 mil milhões) sofreram os danos materiais mais significativos.

Segundo Sen (1981, conforme citado por Cavallo e Noy (2011)), a própria ocorrência de desastres naturais é um evento económicos. Como tal, é de se esperar que países com maior desenvolvimento e estabilidade financeira sejam mais resilientes a choques económicos causados por riscos naturais. Toya e Skidmore (2007) argumentam que países com maior renda, maior nível educacional, maior abertura económica, governos menores e sistemas financeiros mais completos experimentam menores perdas devido à maior implementação de medidas preventivas para reduzir os impactos de desastres naturais. Assim, é importante destacar que a contabilização dos danos totais variará de país para país, dado que o valor das propriedades também varia.

Os danos causados por desastres naturais dependem do tipo de desastre natural e do tipo de construção. Os sismos tipicamente danificam elementos estruturais (vigas, nós, paredes portantes, etc.) e elementos não estruturais (paredes divisórias, coberturas não estruturais, mobília, instalações de AVAC, equipamentos, etc.). De forma semelhante, tempestades intensas e furacões exercem uma pressão extraordinária sobre os edifícios, podendo causar danos estruturais e não estruturais (Bradshaw, 2003). As inundações podem afetar a estrutura de um edifício ou enterrá-lo na lama,

¹ A Base de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) é um recurso extensivo de registos de desastres naturais, criado em 1988 pelo Centro de Pesquisa sobre a Epidemiologia de Desastres (CRED), na Universidade Católica de Louvain, com o apoio da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Governo belga. Esta base de dados contém registos de desastres naturais ocorridos em todo o mundo, abrangendo o período entre 1900 e 2021.

² Num só terremoto a 12 de janeiro de 2010.



levando à perda de equipamentos e do recheio do imóvel, tornando-o inutilizável. Apesar de, na literatura, a opinião generalizada ser a de que a reação das famílias e dos mercados está mais estreitamente ligada ao choque do que ao tipo de desastre natural, é expectável que o risco seja refletido nos valores de mercado dos imóveis. Note-se que, tal como seria de esperar, a maioria dos estudos presentes na literatura foi realizada em locais de alto risco.

Brookshire et al. (1985) encontraram impactos significativos nos preços de imóveis nos Estados Unidos após o Governo do Estado da Califórnia divulgar um mapa de risco sísmico, disponibilizado através da publicação de uma lei estadual de 1974. Os autores argumentam que essa divulgação criou espaço para um novo mercado de habitações seguras na Califórnia. Contrariamente a Brookshire, Beron et al. (1997), após o sismo de Loma Prieta em 1989, encontraram evidências de que as famílias inicialmente tinham sobrestimado os riscos, levando a uma revisão em baixa do valor de mercado do risco após o evento. Palm (1990, conforme citado por Nakagawa et al. (2007)), mostrou que a legislação não afetou significativamente o mercado imobiliário, pois a maioria dos avaliadores não atribuía nenhum prémio de valorização a imóveis menos vulneráveis. A autora também constatou que os clientes raramente perguntavam sobre o risco sísmico, e poucos compradores verificavam evidências de danos anteriores causados por terremotos.

No Irão, Willis e Asgary (1997) encontraram uma diferença de preço significativa entre imóveis com maior resistência a sismos em todos os distritos da cidade de Teerão. Os autores argumentam que essa diferença de preço pode aumentar ainda mais com a divulgação adicional de informações sobre o risco sísmico. No entanto, é de notar que essa sensibilidade varia entre as áreas da cidade e os grupos socioeconómicos. Apesar do aumento de consciencialização no período pós-sismo, as Medidas de Redução de Risco de Terramoto (ERRMs) não foram amplamente utilizadas devido ao aumento dos custos de construção. Assim, pode-se concluir que medidas legislativas e o da consciencialização do risco por exposição a terremotos recentes têm apenas impacto a curto prazo no mercado imobiliário.

Naoi et al. (2009) estudaram o efeito do risco sísmico no mercado imobiliário japonês, um país com uma média anual de 1,14 eventos de magnitude igual ou superior a 5,5 na escala Richter, entre 1980 e 2000. Utilizando dados a nível nacional, os autores encontraram algumas alterações na avaliação subjetiva do risco sísmico por parte dos indivíduos após um evento sísmico. Embora não tenham encontrado evidências claras de uma correlação negativa entre a valorização e o risco sísmico regional em períodos pré-terramoto, encontraram uma correlação significativa em períodos pós-terramoto. Hidano et al. (2015) também analisaram a resposta do mercado imobiliário de Tóquio às informações divulgadas sobre a resistência dos imóveis a sismos e descobriram que imóveis em zonas de baixo risco eram valorizadas no mercado com um prémio de 13.970–17.380 JPY em relação a imóveis em zonas de maior risco. Os autores também concluíram que os preços dos imóveis recém-construídos, com padrões de segurança estrutural mais elevados, não foram significativamente afetados pelo risco, ao contrário das propriedades mais antigas.

Na Itália, Modica e Locati (2016) estudaram a resposta do mercado imobiliário ao terramoto de 2012 no Norte da Itália e encontraram evidência de uma reação exagerada provocada pelo nível de dano causado. Houve uma redução média de 4,6% nos preços após o sismo, sendo que as regiões mais afetadas pelo terramoto também foram as mais impactadas por essa redução de preços. É importante notar que moradias com melhor qualidade estrutural foram menos afetadas pela queda de preços, sugerindo que as famílias tiveram em consideração a perceção da sua resistência a eventos sísmicos.

Note-se que uma forma das famílias se protegerem das consequências económicas provocadas pelos danos materiais provocados por eventos sísmicos nos seus imóveis é através da subscrição de seguros multiriscos com cobertura para este tipo de eventos. No entanto, em várias partes do globo, verifica-



se que a cobertura por via do seguro contra eventos sísmicos nem sempre é largamente difundida. A título de exemplo, Naoi et al. (2009) afirmaram que os danos causados por terremotos não são totalmente segurados no Japão. De acordo com o EM-DAT, apenas 17,8% do total dos danos foram cobertos por seguros durante o terremoto e tsunami de Tohoku em 2011, confirmando as conclusões de Naoi et al. (2009). Os autores também argumentaram que "como um terremoto é um fator de risco exógeno característico de um local ou região específica, este deve ser refletido nos preços locais do mercado imobiliário. Estimar a exposição ao risco das populações é crucial para avaliar os benefícios das políticas de mitigação de danos causados por terremotos".

Em suma, na literatura há evidência de que fatores de risco acrescido devem ter impactos negativos nos preços do imobiliário, levando a reduções de valorização em imóveis com maior vulnerabilidade. No entanto, verifica-se de igual forma que este efeito nem sempre se materializa, dependendo do mercado, da cultura e condições socioeconómicas das populações (Brookshire et al., 1985; MacDonald et al., 1987; Willis e Asgary, 1997; Önder et al., 2004; Bin e Polasky, 2004; Hallstrom e Smith, 2005; Nakagawa et al., 2007; Fekrazad, 2019).

3 O CASO DE LISBOA

Estudos anteriores consideraram a capital portuguesa como tendo um risco sísmico moderado (Borges et al., 2001). Desta forma, um grande terremoto, como os de 1531 e 1755, teria consequências significativas no país, na sua economia, e na vida de seus habitantes. No entanto, e apesar do risco, Lisboa permanece pouco preparada para tal evento, especialmente considerando que 64% de seu stock de edifícios foi construído antes de qualquer regulamentação sísmica (Costa et al., 2008). No entanto, são visíveis as diferenças de vulnerabilidade entre as tipologias construtivas presentes no seu parque edificado. No geral, pode-se afirmar que a história da redução da vulnerabilidade em Portugal está maioritariamente associada ao terremoto de 1755 ou à aplicação de códigos de construção (Costa et al., 2008; Lopes, 2008; Jarimba, 2016).

Muitas das referências na literatura existente com enfoque na cidade de Lisboa, abordam tipologias construtivas específicas. Exemplos disso são o estudo de Simões et al. (2015), que estudaram o desempenho sísmico de edifícios "pombalinos", "gaioleiros" e de "placa", o de Marques et al. (2017), que estudaram os edifícios de alvenaria não reforçada e de "placa", ou o de Caruso e Bento (2019), que avaliaram o desempenho de edifícios de alvenaria não reforçada e de edifícios de betão armado (pré-1980). A larga maioria dos estudos identificam deficiências não negligenciáveis, e por vezes severas, na resistência do edificado e no seu desempenho sísmico.

Outros focaram-se no risco global do parque edificado. A título de exemplo, em 2005 a Câmara Municipal de Lisboa lançou um conjunto de estudos setoriais de risco sísmico, em colaboração com o Instituto de Engenharia Estrutural, Território e Construção do Instituto Superior Técnico (ICIST), com o objetivo produzir recomendações a serem incluídas no Plano Diretor da cidade, tal como a definição de áreas sísmicas críticas. O documento produzido contém também recomendações sobre intervenções em edifícios existentes, como a proibição de qualquer intervenção que possa diminuir a resistência global a cargas horizontais, como a construção de novos andares superiores. Recomenda especial cuidado com os edifícios "pombalinos" e "gaioleiros". Quanto à reabilitação de edifícios, recomenda que qualquer projeto de reabilitação contenha informações detalhadas sobre a resistência sísmica do edifício e que as obras de manutenção dos edifícios mais vulneráveis sejam usadas como oportunidade para seu reforço estrutural. Por último, recomenda uma fiscalização mais rigorosa das obras de construção pela Câmara Municipal de Lisboa.



Apesar do risco e da elevada vulnerabilidade do edificado, os preços dos imóveis dispararam nos últimos anos, especialmente desde 2013. As taxas de juro baixas, as políticas de promoção do turismo e o aumento dos alojamentos de curta duração, entre outros fatores, impulsionaram o crescimento do mercado na última década, levando o país a um dos maiores aumentos na valorização do *stock* habitacional em toda a Europa, tendo o valor mediano das avaliações bancárias na capital duplicado entre 2014 e 2020³.

O aumento das avaliações do mercado imobiliário português, a exposição das famílias e dos bancos ao risco sísmico e a inexistência de um fundo nacional de cobertura para atividades sísmicas constituem uma situação delicada que deve ser endereçada com a maior brevidade possível.

4 METODOLOGIA

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De forma a ter uma correta avaliação da influência do risco no mercado imobiliário são necessárias ter em conta várias dimensões. Desta forma, a metodologia utilizada foi desenhada de forma a capturar as possíveis causas e efeitos de uma forma o mais abrangente possível. Deve-se começar por considerar e definir o risco. No contexto da avaliação do risco de desastres naturais, o risco é frequentemente referido como uma combinação de perigo, vulnerabilidade e exposição, sendo, no entanto, por vezes simplificado como a combinação da probabilidade e das consequências. Desta forma, deve-se considerar não apenas a sismicidade histórica de Lisboa (o epicentro de eventos anteriores, magnitude e efeitos do movimento do solo - ou seja, perigo), mas também o comportamento estrutural dos edifícios e a sua resposta a um terramoto (vulnerabilidade), bem como a dinâmica populacional e demográfica (para estimar o número de feridos e mortos - ou seja, exposição) (Costa et al., 2008). No entanto, devemos recordar que este estudo se concentrará principalmente na vulnerabilidade do *stock* de edifícios de Lisboa, nas suas diferenças entre as tipologias de edifícios e bairros e seu impacto nas avaliações.

Desta forma, consideramos que são necessários ter em conta quatro pontos-chave:

- *Stock de edifícios existentes*: é o ponto fundamental para se ter uma compreensão profunda das tipologias de edifícios, a sua vulnerabilidade e distribuição espacial.
- *Vulnerabilidade do solo*: é necessário ter em conta os requisitos que cada edifício deve cumprir, tendo em consideração o solo em que está implantado, de forma a evitar o seu colapso.
- *Considerações espaciais*: uma vez que a localização é conhecida por ser um dos principais fatores na determinação dos valores imobiliários. Isto inclui fatores distintos como proximidade a transportes, jardins, escolas, etc.
- *Considerações económicas*: uma vez que os valores dos imóveis são inevitavelmente afetados por tendências macroeconómicas, como taxas de juro, e fatores locais, como mudanças demográficas.

Embora esta lista possa não ser exaustiva de todos os fatores que afetam o mercado imobiliário (McGinnis, 2004), esses quatro grandes grupos foram considerados neste estudo como alguns dos mais importantes para a compreensão da dinâmica do mercado imobiliário.

³ Fonte: Eurostat e INE



4.2 DADOS

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada uma base de dados com 61 variáveis, contendo informações como os valores de venda normalizados, características físicas do imóvel (por exemplo, número de quartos, ano de construção) e distâncias de pontos de interesse, como escolas e transporte público, entre outras características. No total, foram tidas em conta 8 726 transações de apartamentos, ocorridas em Lisboa entre 2008 e 2018.

À luz dos quatro pontos-chave identificados, foi seguida uma estratégia para incluir informações sobre o *stock* de edifícios, como o número de quartos no imóvel, o ano de construção do prédio e sua condição, informações sobre a vulnerabilidade do solo, relacionando-se por georreferenciação o tipo de solo e à aceleração máxima do solo (PGA), e informações espaciais, como a distância a transportes, supermercados ou unidades de saúde. Devido à falta de dados recentes, e com granularidade apropriada, sobre o rendimento das famílias, à data da execução deste estudo, o tipo de variáveis económica propícias de serem integradas na base de dados era limitado. Desta forma, decidimos normalizar todos os valores com base no ano de venda. Embora seja reconhecido que mudanças na política fiscal, taxas de juros ou até mesmo taxas de desemprego tenham diferentes impactos em diferentes segmentos de mercado, essa normalização poderá servir como um controlo a fenómenos específicos de cada ano que com impacto transversal a todo o mercado habitacional de Lisboa.

Adicionalmente, é importante reconhecer que cada imóvel é único. A heterogeneidade dos imóveis decorre de suas diferenças na construção, condição, financiamento e localização (Balchin e Kieve, 1986; Robinson, 1979; Cupal, 2017). Portanto, o valor de mercado de uma propriedade está intrinsecamente ligado à sua localização (por exemplo, proximidade de escolas, supermercados, transporte e outras comodidades), e, portanto, espera-se que os valores imobiliários mostrem sinais de dependência espacial (Bin et al., 2008). De forma a minimizar os efeitos decorrentes deste fenómeno foi realizada uma análise espacial dos dados e foram construídos modelos utilizando diferentes níveis de agregação, nomeadamente usando as antigas freguesias (53, antes de 2013) e as novas freguesias (24). Esta estratégia foi especificamente seguida para minimizar os efeitos do que é conhecido como Problema da Unidade de Área Modificável (MAUP), fenómeno que ocorre quando a delimitação espacial usada para recolher/reunir dados geográficos é "modificável" ou arbitrária, levando a que os resultados reflitam diferenças na divisão dos dados em vez de diferenças no comportamento real, uma vez que os fenómenos económicos raramente obedecem a limites administrativos ou arbitrários.

Além disso, vieses de amostragem podem ser introduzidos quando a amostra contém apenas um subconjunto de imóveis não representativos do *stock* habitacional total. Quanto menor o tamanho da amostra em relação à população, maior a probabilidade dos seus efeitos serem visíveis. Além disso, quanto mais distantes forem as características médias dos imóveis na amostra das características reais do *stock*, maiores serão os vieses introduzidos nos resultados. De forma a minimizar estes efeitos, começou-se por comparar a amostra de imóveis com os resultados dos Censos de Edificações de 2011. Realizou-se uma comparação a três níveis: 1) ao nível da cidade; 2) ao nível das novas freguesias; e 3) ao nível das freguesias antigas. No entanto, devemos reconhecer que, dada a natureza dos dados, haverá poucas opções para lidar com uma possível disparidade entre a amostra e a população: 1) adotar uma abordagem de amostragem estratificada; ou 2) conduzir um nível menos granular de agregação.



4.3 ETAPAS

Começou-se por realizar uma Análise Exploratória de Dados, incluindo uma análise espacial e uma Análise de Componentes Principais dos dados. Durante esta fase, identificou-se um conjunto de variáveis para ser incluído no modelo de regressão.

A segunda fase consistiu na construção de um modelo de regressão utilizando o preço normalizado por metro quadrado como variável dependente. Dado o objetivo deste estudo, uma das variáveis independentes a incluir teria, necessariamente, que permitir analisar o impacto da vulnerabilidade sísmica dos imóveis no seu preço. Assim, foi desenvolvido um índice de Déficit de Resistência do Edifício (BRD⁴) com base em estudos anteriores (Lagomarsino e Gionvinazzi 2006; Mota de Sá, Oliveira e Ferreira 2010, 2013; Ferreira 2012). O BRD indica, para um determinado nível de ação sísmica, o quão distante está a resistência atual de um determinado edifício da resistência necessária ou, neste caso, da vulnerabilidade necessária para evitar o colapso estrutural de acordo com a EMS-98. Dada a vulnerabilidade necessária (V_{req}) e a vulnerabilidade atual (V_{ui}) de um edifício, seu BRD é calculado da seguinte forma (EQ 1):

$$BRD = \frac{\Delta V}{V_{req}} \quad [EQ 1]$$

onde ΔV é a diferença entre as vulnerabilidade atual e a requerida para evitar o colapso. O valor do BRD foi calculado para cada imóvel e adicionado como variável à base de dados. De referir que foram seguidas duas abordagens para calcular a vulnerabilidade atual. A primeira abordagem atribuiu a vulnerabilidade atual tendo por base apenas o ano de construção do edifício. Uma tipologia de construção foi então atribuída automaticamente (alvenaria ou betão armado (BA)), bem como um valor correspondente (ver Tabela 1). Cada classe de vulnerabilidade representa um grupo de edifícios com comportamento esperado semelhante sob ação sísmica (Mota de Sá et al., 2013). Isso constitui uma abordagem mais simples, mas expedita, para a atribuição da vulnerabilidade atual.

Tabela 1 - Vulnerabilidade atual média por tipologia. Fonte: Ferreira (2012)

Tipologia	V_{ui}
Alvenaria (<1945)	0,70
BA (1946-1960)	0,60
BA (1961-1985)	0,50
BA (>1985 e ≤ 5 pisos)	0,40
BA (>1985 e > 5 pisos)	0,44

De forma a obter uma estimativa mais refinada da vulnerabilidade atual (V_{ui}), foi utilizada também uma segunda abordagem baseada não apenas no ano de construção, mas também na localização do edifício. Utilizou-se o Censos de edifícios de 2011 que classifica cada edifício na cidade de Lisboa de acordo com o ano de construção (num total de 10 classes), o tipo de estrutura (num total de 6 classes)

⁴ Building Resistance Deficit



e algumas outras características, como o tipo de cobertura e revestimento. Utilizando o ano de construção e o tipo de estrutura (com base em seus principais elementos resistentes), encontrou-se um total de 60 categorias iniciais diferentes, correspondendo ao número total de pares possíveis de combinação das duas variáveis. Dadas as semelhanças entre algumas classes, utilizaram-se dados presentes na literatura de forma a agrupar os grupos iniciais em 24 classes apenas. De seguida, foi atribuída a cada imóvel uma tipologia construtiva (de acordo com EMS-98) juntamente com um valor para a vulnerabilidade atual estimada. Os valores base da vulnerabilidade foram os recolhidos nos estudos de Lagomarsino e Giovinazzi (2006), Oliveira et al. (2004) e Ferreira (2012). Adicionalmente, foram considerados para cada imóveis fatores de modificação (FM) que introduzem aumentos ou decréscimos de vulnerabilidade, com base em características como o número de pisos ou a condição do edifício.

Com base no trabalho de Oliveira et al. (2019), foi feito o mapeamento da aceleração ao nível do solo (Peak Ground Acceleration (PGA)), para a localização de cada imóvel, utilizando por base a norma portuguesa para as condições sismo próximo e para o nível de importância dos edifícios residenciais⁵. A partir da PGA estimada, foi possível calcular a intensidade I_0 , tal como enunciado em Mota de Sá et al. (2010) (EQ 2):

$$I_0 = \frac{\log PGA - 0,014}{0,3} \quad [\text{EQ 2}]$$

Tendo a intensidade calculada, é possível estimar a vulnerabilidade requerida para um determinado edifício evitar o colapso estrutural de acordo com o EC8. Essa vulnerabilidade necessária (V_{req}) pode ser calculada da seguinte forma (EQ 3):

$$V_{req} = 1,82576 - 0,178444I_0 \quad [\text{EQ 3}]$$

Apesar das vantagens práticas de usar um índice para descrever a vulnerabilidade, existem limitações associadas. A título de exemplo, reconhece-se que a duração do movimento do solo é especialmente importante para degradar estruturas, como alvenaria não reforçada (Rossetto et al., 2014), o que não é capturado pelo valor base da vulnerabilidade requerida. A heterogeneidade na construção de edifícios mais antigos também pode representar limitações ao usar um único indicador. No entanto, pode-se argumentar que o fator de modificação relativo à condição de um edifício, usado para calcular sua vulnerabilidade atual, já leva em conta os efeitos aumentados do solo numa estrutura em pior estado de conservação estrutural.

Seguidamente realizou-se um teste de Hausman para determinar se o algoritmo de Fixed-Effects (FE) ou o de Random-Effects (RE) era o mais apropriado, tendo-se optado por um modelo de FE (com efeitos fixos de entidade). Este controlo de entidade é usado para minimizar os efeitos da dependência espacial. No entanto, os coeficientes ainda podem mostrar um viés positivo, uma vez que o número de períodos T em análise é pequeno (10 pontos por freguesia, um por ano) (Abdallah et al., 2015). Implementou-se o seguinte modelo (EQ 4):

$$\log(p_{it}) = \alpha + \delta X_{it} + \beta BRD_{it} + \mu_i + \phi_t + \varepsilon_{it} \quad [\text{EQ 4}]$$

onde $\log(p_{it})$ é o preço médio de venda normalizado ao ano de imóveis na freguesia i no ano t; X_{it} é um conjunto de variáveis explicativas relevantes (incluindo número de quartos, área do piso, ano de construção, distância para a estação/paragem de autocarro mais próxima e tipologia construtiva); BRD

⁵ Veja-se http://www2.dec.fct.unl.pt/seccoos/S_Estruturas/Dinamica/mine/EC8_1_Portugues.pdf



é o Défice de Resistência do Edifício (BRD); Os efeitos fixos ao nível da freguesia (μ_i) controlam todas as características invariantes no tempo dentro de cada freguesia e efeitos fixos no tempo (ϕ_t) controlam choques anuais transversais a toda a cidade; ε_{it} é o termo de erro para a freguesia i no ano t .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise exploratória inicial demonstrou uma sobreposição entre a distribuição espacial dos valores de imóveis mais elevados, a maior vulnerabilidade dos edifícios e o maior risco de inundação, nomeadamente nas freguesias da Misericórdia, Santa Maria Maior, Campolide e Avenidas Novas. Estas são freguesias centrais da cidade, sugerindo assim que sua localização é um dos principais fatores que contribuem para o preço dos imóveis. Uma análise de correlação demonstrou também que a condição do edifício (0.338), a condição do apartamento (0.336), o ano de construção (0.277), e o andar (0.099) são algumas das variáveis que apresentam as maiores correlações positivas com os preços normalizados. Estes resultados são consistentes com as expectativas iniciais, uma vez que é expectável que imóveis mais recentes e em melhores condições sejam mais atrativos para potenciais compradores, portanto, com maior valor de mercado. Apartamentos em andares mais altos também têm valores de mercado superiores, uma vez que desfrutam de menos ruído e poluição, e muitas vezes têm vistas melhores do que os andares inferiores. Uma correlação negativa dos preços com a distância até o CBD (-0.163) também mostrou que a localização é um fator primordial na formação de preço. De forma a minimizar possíveis efeitos do MAUP, foram utilizados os valores brutos para a análise, além de uma agregação em antigas freguesias (com tamanhos menores, assim mais aproximados das unidades de análise ideais homogéneas) e de uma agregação nas freguesias novas (conforme definido pela Lei n.º 56/2012). Os resultados foram consistentes em todos os níveis de agregação. A análise do BRD mostrou que os valores médios mais elevados estão localizados nas freguesias de São Nicolau (0.838), Madalena (0.721) e São Paulo (0.627), no centro da cidade, em algumas das localizações mais caras de Lisboa, junto ao rio Tejo.

Os preços geralmente demonstraram um padrão de *spill-over* do centro da cidade para suas periferias, sem qualquer consideração por variações espaciais no risco sísmico. O Parque das Nações, um bairro mais recente e com uma população com estatuto económico elevado, também demonstrou preços mais altos apesar da maior distância ao centro da cidade. Uma análise de PCA revelou que uma parte significativa da variância dos dados (25,46%) poderia ser explicada pelo primeiro componente, que poderá ser identificado como relacionado à proximidade com o rio e à centralidade, e pelo segundo fator (19,26%) relacionado com a condição do edifício e do próprio imóvel.

Na segunda fase, foram construídos quatro modelos de Fixed-Effects (Tabela 2). Note-se que após cada regressão, realizou-se uma análise de autocorrelação espacial dos resíduos da regressão para garantir a validade dos resultados. Os modelos construídos para diferentes níveis de agregação, mostraram um coeficiente negativo para o BRD (BRD_PROXIMO) e coeficientes positivos para o número de pisos (FLOOR). Também é possível concluir que a condição do edifício e dos apartamentos, bem como o número de pisos no edifício, impactam positivamente no valor do imóvel. A segunda abordagem de BRD, mais detalhada, aparenta produzir melhores resultados na modelação dos preços dos imóveis. Apesar do impacto significativo das variáveis BRD nos modelos das antigas freguesias, devemos ser cautelosos na interpretação dos resultados, dada a alta correlação da vulnerabilidade com a idade do edifício, o que pode revelar uma preferência por edifícios mais novos em vez de uma preferência direta por uma menor vulnerabilidade a atividades sísmicas. Além disso, note-se a área parece insignificante no modelo, o que seria contraintuitivo. No entanto, é importante referir que a variável dependente é o preço por metro quadrado.



Além disso, a análise dos resultados permite concluir que a utilização das antigas freguesias é uma abordagem geralmente melhor para a modelação dos dados. Este facto era expectável uma vez que unidades espaciais de menor dimensão deverão representar uma dinâmica de mercado mais homogénea. As regressões que utilizaram as freguesias antigas não revelaram autocorrelação espacial do termo de erro, mostrando assim a validade dos resultados. Os melhores resultados foram obtidos para o segundo modelo de freguesias antigas (baseado no ano de construção e localização), com um R^2 de 21,39%, seguido pelo primeiro modelo de freguesias novas, com a primeira abordagem de atribuição de BRD, com um R^2 de 10,61%.

Tabela 2 - Resultados das regressões de FE

	BRD – Primeira Abordagem				BRD – Segunda Abordagem			
	Freguesias Antigas		Freguesias Novas		Freguesias Antigas		Freguesias Novas	
const	0.597* **	0.519* **	0.662* **	0.594* **	0.475* **	0.403***	0.578* **	0.484** *
BUILDING_2	0.159* **	0.155* **	0.075* *	0.083* *	0.151* **	0.153***	0.095* **	0.108** *
APARTMENT1	0.078* *	0.076* *	0.051* *	0.049* *	0.112* **	0.112***	0.052* *	0.052* *
AREA	-0.001	--	-0.0001	--	-0.0005	--	9.18e-5	--
FLOOR	0.022* *	--	-0.0005	--	0.020	--	-0.012	--
BRD_PROXIMO	- 0.436* **	- 0.427* **	-0.177	-0.207	-	--	--	--
BRD_PROXIMO_P OND	--	--	--	--	- 0.223* *	-0.221**	-0.0002	0.002
BUILDING_F	--	0.014* **	--	0.011* **	--	0.014***	--	0.009* *
Entidades	53	53	23	23	52	52	23	23
Períodos	11	11	11	11	11	11	11	11
R2	18.86%	19.13%	8.49%	10.61%	20.48%	21.39%	9.54%	10.57%
Autocorrelação Espacial de Resíduos	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim

***p-value<1%; **p-value<5%; *p-value<10%



Refira-se ainda que os resultados não contrastam com a literatura existente. Embora se reconheça que, tal como mencionado por Naoi et al. (2009), sendo o risco sísmico um risco exógeno ao imóvel este deveria refletir-se no seu valor, a literatura também mostra que a maioria dos efeitos de redução de preços ocorre após a divulgação de informações de risco em locais de alto risco sísmica (ver, por exemplo, Naoi et al. (2009)), e especialmente em situações pós-terramoto (como demonstrado por Modica e Locati (2016)).

6 CONCLUSÕES

Lisboa é considerada uma cidade de risco sísmico moderado, tendo registado dois eventos importantes em sua história, em 1531 e 1755. No entanto, 64% do seu *stock* de edifícios foi construído antes da implementação de qualquer regulamentação sísmica, constituindo um risco à segurança e bem-estar dos seus habitantes. A escalada dos preços no mercado imobiliário nos últimos anos aumentou o de risco financeiro da banca e das famílias. Este estudo procurou explorar se os valores de mercado refletem uma preferência por propriedades menos vulneráveis a sismos. Com base na análise da literatura e nos resultados, podemos concluir que o mercado não reflete necessariamente uma preferência por propriedades menos vulneráveis a sismos. Embora, em teoria, seja expectável que este risco seja refletido no valor de mercado de um imóvel, os resultados demonstram que o mercado valoriza edifícios mais novos e em melhor estado, impulsionado não pela preocupação com a segurança em si, mas pelas comodidades oferecidas pelo imóvel, tal como a sua localização. A análise também revela que os investidores parecem estar alheios a riscos naturais como sismos, conforme demonstrado pela fraca associação entre os preços e a distribuição espacial de imóveis com maior vulnerabilidade a riscos naturais.

O progresso feito neste estudo proporcionou uma base ao desenvolvimento políticas públicas para mitigar o risco sísmico, em especial em locais de risco sísmico moderado. Contudo, também levantou várias questões que poderão ser exploradas em novas linhas de investigação: que fatores socioeconómicos específicos contribuem para as diferenças na perceção do risco e nas ações observadas nos diferentes grupos em Lisboa? Como podem estes fatores ser explorados para promover uma resposta mais eficaz ao risco sísmico? Quais são as potenciais implicações da indiferença do mercado em relação ao risco sísmico no planeamento urbano a longo prazo, no desenvolvimento de infraestruturas e nos esforços de resposta a desastres naturais? Como podem os *stakeholders* e os decisores políticos colmatar esta lacuna para garantir um ambiente construído mais resiliente? Estas são algumas das questões cuja resposta poderá contribuir para a mitigação de risco e para um ambiente construído mais seguro e resiliente.

REFERÊNCIAS

- Abdallah, W., Goergen, M., & O'Sullivan, N. (2015). Endogeneity: how failure to correct for it can cause wrong inferences and some remedies (Version 1). Loughborough University. <https://hdl.handle.net/2134/17490>
- Badri, S. A., Asgary, A., Eftekhari, A. R., & Levy, J. (2006). Post-disaster resettlement, development and change: a case study of the 1990 Manjil earthquake in Iran. *Disasters*, Volume 30(4), pp. 451-468. DOI: 10.1111/j.0361-3666.2006.00332.x
- Balchin, P. N., & Kieve, J.L. (1986). *Urban land economics* (3ed) London: McMillan, 1986.



- Bennett, M. J. (1989). *Lessons Learned from the Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989*. Volume 1045. US Government Printing Office.
- Beron, K. J., Murdoch, J. C., Thayer, M. A., & Vijverberg, W. (1997). An Analysis of the Housing Market before and after the 1989 Loma Prieta Earthquake. *Land Economics*, Volume 73(1), pp. 101–113. DOI: 10.2307/3147080
- Bin, O., & Polasky, S. (2004). Effects of flood hazards on property values: Evidence before and after hurricane Floyd. *Land Economics*, 80(4), 490-500. DOI: 10.2307/3655805
- Bin, O., Kruse, J. B., & Landry, C. E. (2008). Flood hazards, insurance rates, and amenities: Evidence from the coastal housing market. *Journal of Risk and Insurance*, Volume 75(1), pp. 63-82. DOI: 10.1111/j.1539-6975.2007.00248.x
- Borges, J., Fitas, A., Bezzeghoud, M., & Teves-Costa, P. (2001). Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*. Volume 331(4), pp. 373-387. DOI: 10.1016/S0040-1951(00)00291-2
- Brookshire, D. S., Thayer, M. A., Tschirhart, J., & Schulze, W. D. (1985). A Test of the Expected Utility Model: Evidence from Earthquake Risks. *Journal of Political Economy*, Volume 93(2), pp. 369–389. DOI: 10.1086/261304
- Costa, A.C., Sousa, M.L., Carvalho, A., & Coelho, E. (2008). Seismic Loss Scenarios Based on Hazard Disaggregation. Application to the Metropolitan Region of Lisbon, Portugal. In: Oliveira, C.S., Roca, A., Goula, X. (eds) *Assessing and Managing Earthquake Risk. Geotechnical, Geological And Earthquake Engineering*. vol 2. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-1-4020-3608-8_21
- Cavallo, E., & Noy, I. (2011). Natural disasters and the economy—a survey. *International Review of Environmental and Resource Economics*. Volume 5(1), pp. 63-102. DOI: 10.1561/101.00000039
- Cupal, M. (2017). Sales Comparison Approach Indicating Heterogeneity of Particular Type of Real Estate and Corresponding Valuation Accuracy. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. Volume 65, pp.977-985. DOI: 10.11118/actaun201765030977.
- Fekrazad, A. (2019). Earthquake-risk salience and housing prices: Evidence from California. *Journal of Behavioral and Experimental Economics (formerly The Journal of Socio-Economics)*, Elsevier, Volume 78(C), pp. 104-113. DOI: 10.1016/j.socec.2019.01.001
- Ferreira, M. A. (2012). *Risco Sísmico em Sistemas Urbanos*. Instituto Superior Técnico. Disponível em: http://www.civil.ist.utl.pt/~monicaf/Tese_MAF.pdf (visitado a 5 de novembro, 2021)
- Hallstrom, D. G., & Smith, K. (2005) Market responses to hurricanes, *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 50(3), pp. 541-561. DOI: 10.1016/j.jeem.2005.05.002
- Hidano, N., Hoshino, T., & Sugiura, A. (2015). The effect of seismic hazard risk information on property prices: Evidence from a spatial regression discontinuity design, *Regional Science and Urban Economics*, Volume 53, pp. 113-122, ISSN 0166-0462, DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2015.05.005.
- Lagomarsino, S., & Giovinazzi, S. (2006). Macroseismic and mechanical models for the vulnerability assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*. Volume 4, pp. 415-443. DOI:10.1007/s10518-006-9024-z.
- Lee, M. & Hong, J. H., & Kim, K. (2017). Estimating Damage Costs from Natural Disasters in Korea. *Natural Hazards Review*. Volume 18. DOI: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000259.



- Leilani, F. (2017). Report of the Special Rapporteur on adequate housing as a component of the right to an adequate standard of living, and on the right to non-discrimination in this context, New York, New York, USA: United Nations. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/861179> (visitado a 26 de maio, 2024)
- Instituto Nacional de Estatística (INE) (2020). Inquérito à Situação Financeira das Famílias 2020 (Dados definitivos). Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=569549494&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt (visitado a 29 de maio, 2024)
- MacDonald, D. N., Murdoch, J. C., & White, H. L. (1987). Uncertain Hazards, Insurance, and Consumer Choice: Evidence from Housing Markets. *Land Economics*, University of Wisconsin Press, Volume 63(4), pp 361-371. DOI: 10.2307/3146293
- Modica, M., & Locati, M. (2016). Housing Market Response to 2012 Northern Italy Earthquake: The role of house quality and changing risk perception. *SEEDS Working Papers*. 4/2016. Disponível em: <http://www.sustainability-seeds.org/papers/RePec/srt/wpaper/0416.pdf> (visitado a 26 de junho, 2023)
- Mota de Sá, F., Oliveira, C. S., & Ferreira, M. A. (2010). SIRIUS - INDICADOR DE RISCO SÍSMICO NO ESPAÇO URBANO. SÍSMICA 2010 – 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica. Conference Paper. Disponível em: http://www.civil.ist.utl.pt/~monicaf/SISMICA_104.pdf (visitado a 5 de novembro, 2021)
- Mota de Sá, F., Oliveira, C. S., & Ferreira, M. A. (2013). SIRIUS, Seismic Risk Indicator in Urban Space. *Earthquake Spectra*, Volume 29(2), pp. 573–595. DOI: 10.1193/1.4000149
- Nakagawa, M., Saito, M., & Yamaga, H., (2007). Earthquake risk and housing rents: Evidence from the Tokyo Metropolitan Area. *Regional Science and Urban Economics*, Elsevier, Volume 37(1), pp. 87-99. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2006.06.009
- Nakagawa, M., Saito, M., & Yamaga, H., (2007). Earthquake risk and housing rents: Evidence from the Tokyo Metropolitan Area. *Regional Science and Urban Economics*, Elsevier, Volume 37(1), pp. 87-99. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2006.06.009
- Naoi, M., Seko, M., & Sumita, K. (2009) Earthquake risk and housing prices in Japan: Evidence before and after massive earthquakes. *Regional Science and Urban Economics*, Volume 39(6), pp. 658-669, ISSN 0166-0462, DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2009.08.002.
- Oliveira, C.S., Ferreira, M.A., & Mota de Sá, F. (2004) Seismic Vulnerability and Impact Analysis: Elements for Mitigation Policies. XI Congresso Nazionale “L’ingegneria Sismica in Italia”, Genova 25-29 gennaio 2004.
- Önder, Z., Dökmeci, V., & Keskin, B. (2004). The Impact of Public Perception of Earthquake Risk on Istanbul’s Housing Market. *Journal of Real Estate Literature*, Volume 12(2), pp.181–194. DOI: 10.1080/10835547.2004.12090136
- Robinson, R. (1979). *Housing economics and public policy*. Palgrave Macmillan London. DOI: 10.1007/978-1-349-16069-3
- Rossetto, T., Ioannou, I., Grant, D.N. & Maqsood, T. (2014), Guidelines for empirical vulnerability assessment, GEM Technical Report 2014-08 V1.0.0, 140 pp., GEM Foundation, Pavia, Italy, doi: 10.13117/GEM.VULN-MOD.TR2014.11. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/21620143.pdf> (visitado a 15 de novembro, 2021)



Toya, H., & Skidmore, M. (2007). Economic development and the impacts of natural disasters. *Economics letters*, Volume 94(1), pp. 20-25. DOI: 10.1016/j.econlet.2006.06.020

Willis, K. G., & Asgary, A. (1997). The Impact of Earthquake Risk on Housing Markets: Evidence from Tehran Real Estate Agents. *Journal of Housing Research*, Volume 8(1), pp. 125–136. <http://www.jstor.org/stable/24833635>