



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Marcos Antonio Chiamulera

ESTUDO COMPARATIVO DO ESTADO DE
CONSERVAÇÃO, PROCESSOS DE
DESCARACTERIZAÇÃO E DA ANÁLISE DA
VULNERABILIDADE SÍSMICA DA
BAIXA DE COIMBRA

Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, no Ramo Estrutural,
orientada pelo Professor Doutor Tiago Miguel Ferreira e pelo Professor Doutor
Romeu da Silva Vicente e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2021

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Marcos Antonio Chiamulera

Estudo Comparativo do Estado de Conservação, Processos de Descaracterização e da Análise da Vulnerabilidade Sísmica da Baixa de Coimbra

Comparative Study of the Conservation State, Mischaracterization Processes and the Seismic Vulnerability Assessment of the Baixa de Coimbra

Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, no Ramo Estrutural, orientada pelo Professor Doutor Tiago Miguel Ferreira e pelo Professor Doutor Romeu da Silva Vicente e apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia ao Departamento de Engenharia Civil.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Coimbra, 17 de novembro de 2021



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Agradecimentos

À Universidade de Coimbra

Aos Coordenadores do Mestrado em Reabilitação de Edifícios:

Professores Doutor Raimundo Mendes da Silva e Doutora Isabel Torres.

Especialmente os Orientadores Professores Doutores Tiago Miguel dos Santos Ferreira e Romeu da Silva Vicente pela confiança, pelo acompanhamento competente e, principalmente, pelo incentivo que manifestaram diversas vezes quando foi preciso ao longo deste trabalho.

Aos Professores do Mestrado em Reabilitação de Edifícios, que conseguiram desenvolver os objetivos do Curso de forma simples e esclarecedora.

Finalmente, a minha família pela tolerância e estímulo constante, dedico este trabalho.

**Estudo Comparativo do Estado de Conservação,
Processos de Descaracterização e da Análise da
Vulnerabilidade Sísmica da Baixa de Coimbra**

Palavras-chave	Centro histórico, estado de conservação, descaracterização, vulnerabilidade sísmica, fachada, alvenaria, SIG.
resumo	<p>O crescimento da atividade turística nos Centros Históricos Portugueses, proporcionou benefícios financeiros e impulsionou a necessidade urgente de intervenção com estratégia a atender as necessidades atuais, que potencie o equilíbrio entre os interesses culturais, sociais, financeiros com a preservação da identidade.</p> <p>A presente dissertação faz uma reflexão acerca do cenário atual da Baixa de Coimbra, nomeadamente “Baixinha”, desenvolve uma contextualização, identificando as questões mais críticas de degradação e descaracterização de forma a que possa ser estabelecida uma análise comparativa do cenário atual desses edifícios com levantamento de dados recolhidos em 2009 através de um projeto de colaboração entre a Câmara Municipal de Coimbra e a Universidade de Coimbra. Em termos gerais, este trabalho foca em gerar conhecimentos através da atualização de dados para aplicações práticas com vista à proposta de solução de problemas específicos na área da reabilitação de edifícios, utilizando como objeto de estudo a Baixa de Coimbra.</p> <p>Analisa o estado de conservação geral e o nível de descaracterização do edificado antigo e numa segunda etapa aborda o tema da vulnerabilidade sísmica, através de uma metodologia de avaliação da vulnerabilidade dos edifícios proposta por Romeu Vicente, e desenvolvida e aplicada ao nível das fachadas por Tiago Miguel Ferreira, em 2009. O perímetro preliminarmente delimitado é devidamente justificado pelo estado de conservação geral dos edifícios dessa área, e das fachadas em particular, que é manifestamente deficiente, comprometendo a segurança da comunidade num eventual abalo sísmico.</p> <p>A análise comparativa consiste em cruzar dados levantados em 2009 com o conjunto de informações atuais, para estabelecer as diferenças dinâmicas que ocorreram ao longo de 12 anos no edificado da Baixa. O levantamento atual tem com base os mesmos critérios anteriores, cujo objetivo será atualização de informações acerca do estado atual, para verificação da evolução do estado de conservação e/ou descaracterização e apuração de anomalias recorrentes. Apesar da dimensão da amostra do caso de estudo deste trabalho, é possível dar um passo no desenvolvimento de uma curva de tendência com início em 2009, passando por 2021 para prever como evoluirá nos próximos 12 anos. Os resultados dessa análise poderão suportar a tomada de decisões em uma avaliação e promoção de soluções da segurança, reforço ou demolição do edificado e permitir verificar possíveis estratégias de emergência para a área delimitada, com vista à análise de eventuais situações de acesso condicionado na sequência de um evento sísmico.</p> <p>Uma vez que existem estudos bem fundamentados com referência a um vasto banco de dados levantados por Romeu Vicente, em 2008, e Tiago Miguel Ferreira, em 2009, e com base nos dados atualizados, a segunda etapa é desenvolvida com o objetivo de analisar o eventual agravamento da vulnerabilidade sísmica do edificado impactados pelo cenário atual, pelo mau estado de conservação do edificado, das paredes de fachadas ou do conjunto de edifícios compostos pelo perímetro anteriormente destacado. Os dados levantados foram integrados a um Sistema de Integração Geográfica (SIG) para gestão do perímetro em estudo e a análise dos resultados obtidos através da integração dos resultados de vulnerabilidade sísmica das fachadas ao sistema SIG, construíram-se então os cenários de dano para a Baixa de Coimbra.</p> <p>Finalmente, é ainda possível identificar as áreas onde existe maior concentração de fachadas com índice de vulnerabilidade mais elevado, correlacionando diretamente com as zonas mais degradadas, onde há maior necessidade de conservação. Neste sentido, os resultados aqui apresentados podem constituir-se como ferramentas importantes na tomada de decisões, no apoio do processo de intervenção prioritária, reabilitação estrutural (sísmica) e renovação urbana do centro histórico de Coimbra.</p>

**Estudo Comparativo do Estado de Conservação,
Processos de Descaracterização e da Análise da
Vulnerabilidade Sísmica da Baixa de Coimbra**

key words Historical centre, state of conservation, mischaracterization, seismic vulnerability, façade, masonry, GIS.

abstract The boost of tourist activity in Portuguese Historic Centers has resulted in significant financial benefits and boosted the urgent need for intervention with a strategy to meet current needs, enhancing the balance between cultural, social and economic interests with identity preservation.

This dissertation reflects on the current scenario of downtown Coimbra, namely the “Baixinha”, develops a contextualization, identifying the most critical issues of degradation and mischaracterization so that a comparison between the current state of these and the reality observed in 2009 in data survey carried out under the scope of a collaborative project between the City Council of Coimbra, and the University of Coimbra can be performed. In general terms, this work focuses on generating knowledge by updating data that can be used in future practical applications, including building seismic retrofitting and rehabilitation actions.

In the first stage, this dissertation analyzes the general state of conservation and the level of deterioration of the old building. Then, the seismic vulnerability of the building stock is addressed by applying a methodology specifically tailored to assess the seismic vulnerability of masonry façade walls. The preliminary delimited perimeter is duly justified by the general state of conservation of the buildings in that area, which is manifestly deficient, compromising the community’s safety in the case of an earthquake.

The comparative analysis consists of crossing data collected in 2009 with the set of current information in order to establish the changes that occurred over the last 12 years in the buildings. The current survey is based on the same previous criteria, whose objective will be to update information about the current state, verify the evolution of the state of conservation and/or mischaracterization, and identify possible recurring anomalies. Despite the sample size of the case study in this work, it is possible to take a step in the development of a trend curve starting in 2009, passing through 2021 to predict how it will evolve over the next 12 years. The results of this analysis may support decision-making in an assessment and promotion of security solutions, reinforcement or demolition of the building and allow the verification of possible emergency strategies for the delimited area to analyze any inaccessibility issues following a seismic event.

Since there is already a consolidated database of the Baixa de Coimbra, put together by Romeu Vicente in 2008 and Tiago Miguel Ferreira in 2009, the second stage is motivated to promote the analysis of the changes found in the buildings in terms of seismic vulnerability, as a result of the current state of conservation of the building. The collected data were integrated into a Geographic Integration System (GIS) to optimize the information management and the spatial visualization of the obtained seismic vulnerability and damage scenarios results.

Finally, it is also possible to identify the areas where the concentration of highly vulnerable facades is more significant, directly correlating with the most degraded areas, where there is a greater need for conservation. In this sense, the results presented in this dissertation can be very relevant, supporting decision-making the process and intervention prioritization in the Historic Center of Coimbra.

ÍNDICE GERAL

1	Introdução.....	9
1.1	Enquadramento.....	9
1.2	Motivação.....	11
1.3	Objetivos.....	16
1.4	Organização do texto.....	17
2	Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes de alvenaria.....	18
2.1	Introdução.....	18
2.2	Regulamentação.....	23
2.2.1	Introdução e breve enquadramento histórico.....	23
2.2.2	Decreto-Lei nº 95/2019.....	24
2.2.3	Desafios da aplicação do quadro regulamentar em vigor aos edifícios da Baixa de Coimbra.....	27
2.3	Avaliação sísmica do edifício existente de alvenaria.....	29
3	Metodologia e caso de estudo.....	33
3.1	Avaliação dos edifícios da Baixa de Coimbra.....	33
3.2	Organização do trabalho de campo e gestão da informação.....	34
3.3	Aplicação da metodologia.....	39
4	Análise e comparação dos resultados.....	44
4.1	Estado de conservação e caracterização da Baixa de Coimbra.....	44
4.2	Apresentação e análise de resultados.....	49
4.2.1	Índice de vulnerabilidade da fachada.....	49
4.2.2	Integração dos resultados num sistema SIG.....	62
4.2.3	Estimativa de danos.....	67
4.3	Comparações dos resultados obtidos em 2009 com os atuais 2020/21.....	69
4.4	O Ponto e contraponto do estado de conservação do edificado.....	74
5	Conclusões.....	78
5.1	Principais conclusões.....	78
5.2	Propostas de trabalhos futuros.....	80
	Referências bibliográficas.....	81
	Anexo B – Parâmetros de avaliação da vulnerabilidade.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição de Alvarás por Região NUT II, em junho de 2019. Adaptado de IMPIC	
11	
Figura 2: Definição da área de estudo: (a) Baixa de Coimbra, com edifícios para estudo; (b) Perímetro e localização do estudo.	12
Figura 3: Vista para a Rua Direita, captada a 7 de julho de 2020	13
Figura 4: Vista para a Rua da Moeda, captada a 7 de julho de 2020	13
Figura 5: Descaracterização, obras paralisadas, degradação e risco de colapso.	14
Figura 6: Vistas da futura Avenida Central: panorâmica, sentido oeste e sentido leste	16
Figura 7: Perigosidade, Exposição e Vulnerabilidade	18
Figura 8: Risco sísmico e efeito da redução da exposição, perigosidade e vulnerabilidade. Adaptado de [6].	19
Figura 9: Amatrice, Itália, após o sismo de 24 de agosto de 2016	20
Figura 10: Manchete do jornal República e imagens de danos registados na sequência do terramoto de 1969 – o maior terramoto ocorrido em Portugal Continental desde 1755	20
Figura 11: Largo da Maracha, Rua do Moreno e Mosteiro de Santa Cruz	21
Figura 12: Distribuição de edifícios construídos em Portugal por época, segundo o tipo de estrutura [6]	22
Figura 13: Distribuição dos edifícios em Portugal por tipologia estrutural. 3.544.389 edifícios considerados	22
Figura 14: Alteração regulamentar do regime aplicável à reabilitação de edifícios	25
Figura 15: Abrangência do novo regime aplicável à reabilitação de edifícios	26
Figura 16: Rua Eduardo Coelho, nº 16, Baixa de Coimbra.	28
Figura 17: Mecanismos de colapso para fora do plano de paredes de fachada segundo D’Ayala e Speranza. Adaptado de [2].	30
Figura 18: Amatrice, Itália – 24/08/2016 (Foto: Massimo Percossi/ANSA/AP)	31
Figura 19: Definição da área de estudo e detalhe da codificação das fachadas dos edifícios	34
Figura 20: Identificação do Edifício por um Código correspondente	37
Figura 21: Fichas para ações de levantamento – Baixa de Coimbra	38
Figura 22: Material constituinte da parede de alvenaria da fachada do LM01 e RMO08.	39
Figura 23 : Ficha de avaliação desenvolvida por Vicente, 2008 [5]	41
Figura 24: Estado de conservação, poluição visual das fachadas da Baixa de Coimbra	45
Figura 25: O cunhal do edifício não é travado, Edifício recém “reabilitado”, RMO06	46

Figura 26: Materiais e assentamento irregular das paredes de alvenaria da Baixa de Coimbra	
47	
Figura 27: Caracterização tipológica do edificado da Baixa de Coimbra – imagens aéreas de 03/01/2021	48
Figura 28: Histograma e curva de Gauss com a distribuição do índice de vulnerabilidade da fachada I_{vf}	50
Figura 29: Distribuição das classes do Parâmetro P1 usado no cálculo do I_{vf}	51
Figura 30: Distribuição das classes do Parâmetro P2 usado no cálculo do I_{vf}	52
Figura 31: Distribuição das classes do Parâmetro P3 usado no cálculo do I_{vf}	53
Figura 32: Alteração da tipologia original com grandes vãos no rés-do-chão	54
Figura 33: Definição das classes de vulnerabilidade para parâmetros P1 e P2 [2]	54
Figura 34: Acréscimo de áreas dos edifícios da Baixa de Coimbra.	55
Figura 35: Distribuição das classes do Parâmetro P4 usado no cálculo do I_{vf}	56
Figura 36 : Distribuição das classes do Parâmetro P5 usado no cálculo do I_{vf}	57
Figura 37: Distribuição das classes do Parâmetro P6 usado no cálculo do I_{vf}	57
Figura 38: Distribuição das classes do Parâmetro P7 usado no cálculo do I_{vf}	58
Figura 39: Distribuição das classes do Parâmetro P8 usado no cálculo do I_{vf}	58
Figura 40: Distribuição das classes do Parâmetro P9 usado no cálculo do I_{vf}	59
Figura 41: Distribuição das classes do Parâmetro P10 usado no cálculo do I_{vf}	60
Figura 42: Distribuição das classes do Parâmetro P11 usado no cálculo do I_{vf}	60
Figura 43: Distribuição das classes do Parâmetro P12 usado no cálculo do I_{vf}	61
Figura 44: Distribuição das classes do Parâmetro P13 usado no cálculo do I_{vf}	61
Figura 45: Influência de cada parâmetro no cálculo do índice de vulnerabilidade da fachada	62
Figura 46: Mapeamento da vulnerabilidade das paredes de fachada	63
Figura 47: Distribuição dos parâmetros P1: Geometria da fachada e P2: Esbelteza máxima	64
Figura 48: Distribuição parâmetros P3: Área de aberturas e P4: Desalinhamento aberturas	64
Figura 49: Distribuição dos parâmetros P5: Materiais e P6: Estado de conservação	65
Figura 50: Distribuição parâmetros P7: Eficiência das ligações às paredes ortogonais e P8: Ligação aos diafragmas horizontais	65
Figura 51: Distribuição dos parâmetros P9: Impulsos da cobertura e P10: Elementos ligados à fachada	66
Figura 52: Mapas com a distribuição dos parâmetros P11, P12 e P13:	66
Figura 53: Cenários de dano para I (EMS-98) = VI e para I (EMS-98) = VII	68
Figura 54: Cenários de dano para I (EMS-98) = VIII e para I (EMS-98) = IX	68
Figura 55: Histograma de distribuição de dano para I (EMS-98) = VIII e IX	69
Figura 56: Plantas do antes e depois das demolições, e fotografia aérea da situação atual	70

Figura 57: Mapas da vulnerabilidade das paredes de fachada em 2009 (à esquerda) e 2020/2021 (à direita)	71
Figura 58: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =VI, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)	72
Figura 59: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =VII, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)	72
Figura 60: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =VIII, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)	73
Figura 61: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =IX, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)	73
Figura 62: Imagens de bons exemplos das coberturas inclinadas da Baixa de Coimbra.	75
Figura 63: Imagens dos contrapontos das coberturas da Baixa de Coimbra.	76
Figura 64: Preservação dos beirais originais das coberturas da Baixa de Coimbra.	77
Figura 65: Coberturas associadas entre diferentes edifícios da Baixa de Coimbra.	77

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O crescimento da atividade turística impulsionou a necessidade de reabilitação dos centros históricos Portugueses, nomeadamente do Centro Histórico de Coimbra, cuja porta de entrada é a Baixinha, não somente pelos interesses históricos, mas por interesses econômicos em unidades habitacionais a serem exploradas por investidores em Alojamento Local (A.L.) com retorno financeiro mais rentável do que o arrendamento.

O incremento do turismo proporcionou benefícios financeiros, porém expos socialmente e culturalmente a comunidade da Baixa de Coimbra, tornando indiscutível e urgente a necessidade de intervenção com estratégia que potencie o equilíbrio entre os interesses culturais, sociais, financeiros com a preservação da identidade própria da Baixa.

A Baixa se constituiu por edificações de tipologia de frente estreita, sendo tipicamente uma fração por piso, três alinhamentos verticais de vão, onde tradicionalmente as famílias moravam e no rés-do-chão tinham o seu comércio ou pequena indústria. Esse modelo, com o passar do tempo, tornou-se inadequado às necessidades habitacionais atuais, levando a intervenções erróneas, descaracterizando o patrimônio edificado.

“A especificidade da cidade histórica, e como tal, da sua imagem, encontra-se comprometida face às dinâmicas de degradação do tecido construído e de desvitalização social e económica. Mas será que resolver os problemas de degradação e de precárias condições de habitabilidade é o suficiente para revitalizar social e culturalmente uma cidade histórica? Se pensarmos que uma cidade passa fundamentalmente pela sua sociedade, economia e cultura, e estes aspetos transmitem a essência da mesma população, é fundamental criar condições para que a sociedade possa funcionar” [1].

Com o advento das grandes superfícies comerciais, como o Coimbra Shopping em 1993, Alma Shopping em 2005 e o Fórum em 2006, houve alteração nos hábitos de consumo e no modo organizacional da cidade, ocorrendo um enfraquecimento comercial da Baixa, que se tornou visível através do encerramento de alguns comércios tradicionais e abandono progressivo dos que restaram, fragilizando e reduzindo quase até à extinção a dinâmica impulsionada pela economia local da Baixa de Coimbra. A falta de rentabilidade do comércio levou a uma crise financeira, impossibilitando ações de manutenção e beneficiação necessárias, influenciando diretamente no estado de calamidade pública que vivenciamos na Baixa hoje em dia.

Atualmente, grande parte das reabilitações são voltadas para o setor de A.L., onde os pisos superiores são destinados para quartos e o pavimento térreo, onde havia tradicionalmente o comércio do proprietário do edifício, é transformado na recepção, havendo, portanto, uma perda de identidade, descaracterizando o patrimônio edificado.

Recentemente, com a expectativa de contribuir para a regeneração e reabilitação da zona histórica, na tentativa de devolver aquela dinâmica que lá havia, surgiu um movimento de empresas de tecnologia para criar um centro tecnológico naquele local. Entretanto, a especulação imobiliária frustrou o projeto. Os valores do mercado imobiliário, tornaram-se proibitivos, atingindo valores até quatro vezes superiores ao valor real, bem como as rendas também sofreram aumentos exorbitantes, o que continua inibindo a instalação de mais negócios na região.

Em busca de novos investidores, algumas empresas de mediação imobiliária oferecem “vantagens” e “facilidades” para empreendimentos na região da Área de Reabilitação Urbana (ARU), ignorando os regulamentos vigentes e incentivando clientes a executarem intervenções de forma irregular, em horários impróprios, nos finais de semana, à margem da fiscalização pública. Essas atividades ilícitas têm gerado inúmeros transtornos para moradores e comerciantes da região. Quando essas obras são interditas pelo poder público, ficam paralisadas por um longo período de tempo, promovendo insalubridade, transtornos de acessibilidade, comprometendo a paisagem do local. Diante dessa condição de trabalho irregular, obviamente a mão de obra é desqualificada, por falta de formação adequada e de pessoal técnico, tais “reabilitações” são tecnicamente muito deficientes, executadas com base no empirismo, sem qualidade e durabilidade, comprometendo o próprio edifício e a sua envolvente.

As reabilitações necessárias não estão ocorrendo e o estado de abandono e degradação são visíveis. O estado de conservação da Baixa de Coimbra mostra que o número de edifícios em mau e péssimo estado de conservação tem aumentado e está em ritmo crescente, comprometendo a habitabilidade.

O abandono progressivo da Baixa tem trazido consequências sociais e econômicas graves, e a inversão dessa tendência só poderá acontecer através de um processo holístico, compreendendo aspetos econômicos e humanos. Será necessário promover a melhoria de todo o contexto da região, proporcionando melhores condições de salubridade e acessibilidade nas áreas públicas.

Infelizmente, o desejado desenvolvimento da Baixa de Coimbra caminha pela contramão do tempo, pela falta de flexibilização das instituições competentes levando um longo tempo para liberações burocráticas. O dinamismo do mercado imobiliário tem sido apontado como o grande

responsável pela recuperação da atividade do setor da construção civil. Relativamente à distribuição geográfica (NUT II), verifica-se que a Região Centro detém o segundo maior número de empresas com alvará, 25,7% (Figura 1).

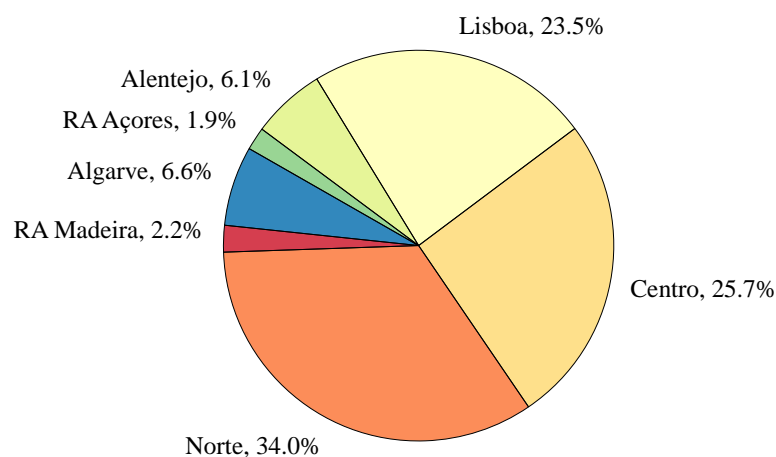


Figura 1: Distribuição de Alvarás por Região NUT II, em junho de 2019. Adaptado de IMPIC

1.2 Motivação

Este trabalho tem como principal motivação fazer uma reflexão acerca do cenário atual da Baixa de Coimbra, nomeadamente da “Baixinha”, constituindo-se em duas etapas interdependentes.

Numa primeira etapa, pretende-se fazer uma análise comparativa do estado de conservação geral e do nível de descaracterização do edificado antigo, tendo como referencial estas mesmas condições, registadas num trabalho de levantamento realizado em 2009 [2]. Posteriormente, numa segunda etapa, será conduzida uma análise da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada do conjunto de edifícios que compõe o perímetro, com vista à análise de eventuais situações de acesso condicionado na sequência de um evento sísmico.

O perímetro preliminarmente delimitado, com aproximadamente 762 m delimita uma área de 31.469 m² (ver Figura 2), é devidamente justificado pelo estado de conservação geral dos edifícios dessa área, e das fachadas em particular, que é manifestamente deficiente, comprometendo a segurança da comunidade num eventual abalo sísmico. As equipas de salvamento dependem das vias desobstruídas, para o planeamento de ações de emergência e socorro em caso de sinistro, devendo ser garantido o acesso rápido ao resgate da população atingida, os escoramentos e/ou cintamentos de elementos com risco de queda, etc.



Figura 2: Definição da área de estudo: (a) Baixa de Coimbra, com edifícios para estudo; (b) Perímetro e localização do estudo.

O universo de edifícios a estudar não está totalmente definido dentro do perímetro originalmente delimitado em [2]. No entanto, com cerca de três centenas de edifícios, considera-se que a área de estudo analisada neste trabalho permite obter já uma visão detalhada e rigorosa do atual estado de conservação e vulnerabilidade sísmica da Baixa de Coimbra, permitindo cumprir os objetivos estabelecidos para este trabalho (ver Secção 1.3).

Numa exploração visual preliminar, com a finalidade de ilustrar o presente trabalho, utilizou-se como referência a Praça 8 de Maio, onde está localizado o Mosteiro de Santa Cruz, cujo grau de importância histórica e turística é inquestionável, tendo sido observadas as três ruas frontais a esta: Rua Direita; Rua da Moeda e Rua da Louça. A título meramente ilustrativo, apresentam-se abaixo 24 fotografias, Figuras 3 a 5, que se julgam suficientes para demonstrar essa região como sendo a mais crítica da Baixa de Coimbra. Como se pode observar nestas figuras, é clara a falta de cuidado e de manutenção deste patrimônio histórico, e o seu abandono progressivo face ao estado de deterioração a que chegou.

**Estudo Comparativo do Estado de Conservação,
Processos de Descaracterização e da Análise da
Vulnerabilidade Sísmica da Baixa de Coimbra**



Figura 3: Vista para a Rua Direita, captada a 7 de julho de 2020



Figura 4: Vista para a Rua da Moeda, captada a 7 de julho de 2020



Figura 5: Descaracterização, obras paralisadas, degradação e risco de colapso.
Rua da Louça, Rua da Fornalhinha e Largo da Freiria, a 7 de julho de 2020

Adicionalmente salienta-se que esta região é altamente complexa no que diz respeito aos intervenientes e circunstâncias que caminham entre a convergência e a conflitualidade, cuja área integra alguns quarteirões por onde há projeto para a passagem da polémica Avenida Central.

Tantos outros projetos no passado tiveram início como marco de referência a Praça 8 de Maio, como o plano urbanístico proposto na década de 40 por Étiene De Gröer, dividindo a Baixa em duas partes, a metade sul seria “arranjada” de forma a realçar o seu carácter pitoresco e a outra metade, ao norte, desapareceria praticamente. A proposta dessa Avenida Central sugerida por De Gröer é mantida posteriormente no plano de Almeida Garrett (1955), de Alberto Pessoa (1956), plano Costa Lobo (1971) e por Fernando Távora em 1992 [3]. Nesta proposta a Avenida Central é rasgada pelo interior dos dois quarteirões alinhados com o fim do eixo Sá da Bandeira com Olímpio Nicolau Fernandes, configurando a zona popularmente conhecida como Bota-Abaixo.

As intervenções urbanísticas realizadas na Baixa de Coimbra encontram a sua fundamentação em décadas de estudos, onde se propunha a demolição de parte do edificado da Baixa, fazendo tábua rasa da malha urbana original, mostrando o desprezo pelo núcleo histórico urbano antigo.

Enquadrado na iniciativa dos Planos de urbanização que desde a década de 40 propõe a intenção de demolições de parte da Baixa, a especulação imobiliária aguarda sempre os benefícios que o atual plano possa proporcionar, alegando que a abertura da avenida vale muito mais que as dezenas de edifícios demolidos.

Além das demolições ocorridas, um fato a ser ressaltado nesse cenário crítico é a paralisação da obra da Avenida Central, com data de arranque dos trabalhos a 17 de agosto de 2017 e período de execução de 270 dias, e continua paralisada, sem previsão para conclusão. O tempo é fator preponderante para o desenvolvimento dessa área, tanto mais que outras áreas próximas, sendo a Alta de Coimbra um bom exemplo, encontram-se em melhores condições de habitabilidade, higiene, salubridade e segurança.

Toda a região da Baixa permanece assim expectante pela sua conclusão, num quadro em que politicamente se assume que a execução do previsto no Programa Estratégico de Reabilitação Urbana (PERU) está dependente da resolução da questão da Avenida Central que, por sua vez, alega-se, não pode ser concluída sem o prosseguimento do projeto do Sistema de Mobilidade do Mondego, cuja entidade gestora detém a propriedade dos edifícios que devem ser demolidos para o que falta da abertura da avenida, processo que tem sido marcado por constantes indefinições, avanços e recuos. Das intervenções realizadas até à data destacam-se a demolição de vários edifícios por onde está previsto passar a avenida, construção de dois edifícios a oeste, integrados no Plano Távora, e algumas operações avulsas de reabilitação do edificado, por iniciativa da Coimbra Viva ou de privados.

Segundo Nuno Rosmaninho, *“A ideologia progressista eleva as demolições a princípio renovador das cidades e a população aceita-as como inevitáveis e benignas”* [4].



Figura 6: Vistas da futura Avenida Central: panorâmica, sentido oeste e sentido leste

1.3 Objetivos

O objetivo central desta dissertação passa por analisar o estado de conservação geral e descaracterização do edificado antigo de uma área delimitada da Baixa de Coimbra e, posteriormente, conduzir uma avaliação de vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada do conjunto de 342 fachadas e 284 edifícios que compõe o perímetro delimitado. Em seguida, comparar os resultados com os obtidos em 2009, visando interpretar por comparação a evolução do estado de conservação e das fragilidades destes edifícios, de modo a apoiar a definição de medidas de melhoria.

Na primeira etapa deste trabalho, será desenvolvida uma contextualização do cenário atual do perímetro preliminarmente delimitado, identificando as questões mais críticas de degradação e descaracterização de forma a que possa ser estabelecida uma análise comparativa do cenário atual desses edifícios com levantamentos de dados recolhidos em 2009 através de um projeto de colaboração entre a Câmara Municipal de Coimbra e a Universidade [de Coimbra]. Ao longo desse trabalho de cerca de dois anos foram realizados mais de 1.500 desenhos e inquéritos, tiradas cerca de 90.000 fotografias e preenchidas mais de 8.500 fichas de registo [2].

A análise comparativa consistirá em cruzar dados levantados em 2009 com os atuais, para estabelecer as diferenças dinâmicas que ocorreram ao longo de 12 anos no edificado da Baixa. O levantamento atual será com base nos mesmos critérios anteriores, através de Fichas de Registos, cujo objetivo será atualização de informações acerca do estado atual, para verificação da evolução do estado de conservação e/ou descaracterização e apuração de anomalias recorrentes.

Os resultados dessa análise poderão suportar a tomada de decisões em uma avaliação e promoção de soluções da segurança, reforço ou demolição do edificado, utilizando essa área como uma solução urbanística para melhorar as condições da comunidade. Atualmente a Câmara Municipal de Coimbra tem a preferência de compra dos imóveis localizados dentro do perímetro da ARU.

Uma vez que existem estudos bem fundamentados com referência a um vasto banco de dados levantados por Romeu Vicente em 2008 [5], e com base nos dados atualizados, a segunda etapa é motivada a fomentar a análise do agravamento da vulnerabilidade sísmica do edificado impactados pelo cenário atual, pelo mau estado de conservação do edificado, das paredes de fachadas ou do conjunto de edifícios compostos pelo perímetro anteriormente destacado. Os dados levantados serão integrados a um Sistema de Integração Geográfica (SIG) para gestão do perímetro em estudo. Também os resultados deste trabalho serão cruzados com os resultados da análise levada a cabo em 2009 [2], permitindo verificar possíveis estratégias de emergência para a área delimitada.

1.4 Organização do texto

Esta dissertação é composta por cinco capítulos, sendo que o primeiro corresponde à presente introdução. No Capítulo 2 faz-se uma síntese sobre avaliação sísmica de edifícios existentes de alvenaria – após uma breve introdução, é apresentada e discutida a problemática da regulamentação e avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes de alvenaria. O Capítulo 3 apresenta o caso de estudo e a aplicação da metodologia. No Capítulo 4 apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos, apresentando-se ainda, neste capítulo, a comparações com trabalhos anteriores (já referidos na Secção 1.3). Finalmente, no 5º e último Capítulo desta dissertação, esboçam-se um conjunto de comentários finais, conclusões e proposta de trabalho futuro. Inclui ainda o Anexo A, online em <https://doi.org/10.5281/zenodo.5600499> que contém a planta atualizada, documentação fotográfica, Fichas de Inspeção, tabelas e quadros de resultados relativos à análise do trabalho da vulnerabilidade sísmica e o Anexo B, neste documento, com os 10 parâmetros de avaliação da vulnerabilidade utilizados e as respectivas definições de classe associadas a cada um deles.

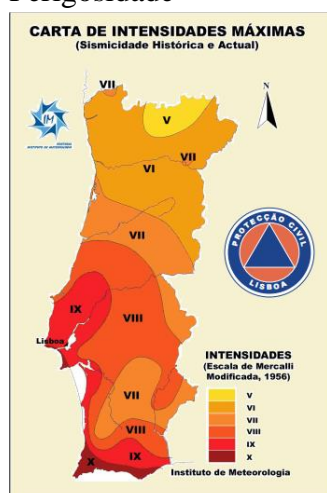
2 Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes de alvenaria

2.1 Introdução

O risco sísmico pode ser entendido como uma medida de perdas potenciais em consequência da ocorrência de um determinado evento sísmico, ao longo de um período de tempo específico, sendo, por isso, algo que se quer o mais reduzido possível. Por forma a avaliar as medidas que potencialmente podem mitigar o risco sísmico, é necessário perceber os fatores que o influenciam [6].

É importante falar do risco sísmico, em particular, quando o risco representa uma medida de perdas económicas ou humanas. Conceptualmente, o risco sísmico contempla três componentes: a **perigosidade**, que representa a suscetibilidade de uma determinada região para a ocorrência de eventos sísmicos; a **exposição**, que representa os elementos expostos a eventos sísmicos; e a **vulnerabilidade**, que representa a suscetibilidade das nossas estruturas e dos seus elementos para sofrer danos em resultado da ocorrência de um evento sísmico (ver Figura 7). É nessa última componente que, enquanto técnicos, podemos intervir de forma a mitigar o risco sísmico através da redução da vulnerabilidade sísmica das nossas estruturas. Para tal, é necessário ter a capacidade de avaliar (de forma tão exata quanto possível) o seu comportamento, e de propor soluções de reforço sísmico capazes de incrementar o desempenho sísmico destas estruturas – ou, por outras palavras, de reduzir a sua vulnerabilidade sísmica.

Perigosidade



Perigosidade

Exposição



Baixa de Coimbra

Vulnerabilidade



Angra do Heroísmo, 1980, Açores

Fonte: www.ceru-europa.pt/pt/galeria.php

Figura 7: Perigosidade, Exposição e Vulnerabilidade

A relação entre estas três componentes, perigosidade, exposição e vulnerabilidade podem ser representadas graficamente através de três circunferências em que a área de cada circunferência representa um dos fatores, ver Figura 8. Quanto maior a área, maior será o papel fator em causa, sendo que a área de interseção entre as três circunferências representa o risco sísmico: seja, quanto maior a área de interseção, maior o risco sísmico [6].

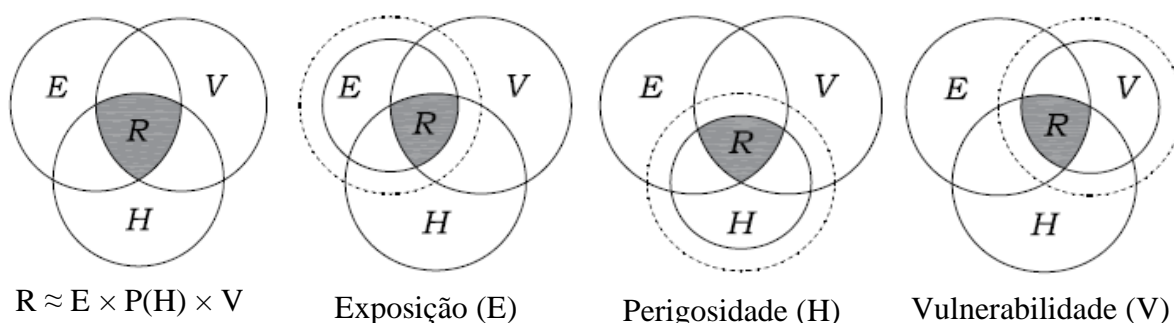


Figura 8: Risco sísmico e efeito da redução da exposição, perigosidade e vulnerabilidade.

Adaptado de [6].

A vulnerabilidade deve ser reduzida por intermédio de medidas de reabilitação sísmica de uma edificação, através da intervenção sobre elementos estruturais tendo em vista a melhoria do seu desempenho sísmico, entendida como a reposição das características originais de um elemento, mas também o reforço, entendido como um aumento da capacidade em termos de resistência, rigidez e/ou deformação, de elementos danificados, ou não [6].

No caso específico dos edifícios da Baixa de Coimbra, para os quais a ação sísmica não foi considerada aquando da sua construção, o comportamento sísmico inadequado poderá resultar de fragilidades estruturais decorrentes da própria construção, de alterações estruturais prejudiciais do comportamento sísmico do edifício – tais como a abertura de grandes vãos no rés-do-chão, o acréscimo de pisos –, ou dos elevados níveis de degradação.

Importa notar que, em relação a este tipo de estruturas [para as quais a ação sísmica não foi considerada na fase de dimensionamento e/ou execução], aprendemos muito com os danos observados de sismos passados. Esses danos são considerados verdadeiros laboratórios vivos das estruturas e seus comportamentos, e é fundamentalmente através da análise e observação que temos identificado os pontos mais vulneráveis dessas construções. A observação acerca desse comportamento é imprescindível, por exemplo, na calibração e validação de modelos numéricos utilizados para a simulação de soluções de reforço.

A observação dos danos em sismos de edifícios de alvenaria em eventos sísmicos recentes, tais como o sismo de Amatrice, Itália, em 24 de agosto de 2016, onde um dos danos muitos comuns está relacionado com a rotação para fora do plano, global ou parcial, das paredes das fachadas dos edifícios. Este tipo de mecanismo de dano ocorre fundamentalmente nos casos em que as

paredes de fachada não se encontram adequadamente ligadas aos elementos transversais (paredes, pavimentos e cobertura). Devido a essas inadequadas ligações, as fachadas acabam por colapsar para fora do plano, frequentemente sobre as vias, colocando em perigo pessoas e bens e, eventualmente, comprometendo o acesso a edifícios e/ou a áreas urbanas. Esta situação encontra-se ilustrada na Figura 9, onde se apresenta um conjunto de fotografias obtidas na sequência do sismo de magnitude 6,6 que atingiu o centro de Itália a 24 de agosto de 2016.



Fonte: www.corriere.it/reportages/cronache/2016

Fonte: www.ilpost.it/2016/08/24/terremoto-amatrice

Figura 9: Amatrice, Itália, após o sismo de 24 de agosto de 2016

Das imagens apresentadas na Figura 9, observam-se danos muito elevados na maioria dos edifícios de alvenaria. É possível observar ainda a obstrução da via em resultado da deposição dos destroços resultantes dos colapsos parciais ou globais dos edifícios. Com efeito, os edifícios de alvenaria são os que tipicamente mais sofrem danos quando ocorrem um evento sísmico – com a construção de novos edifícios, com características materiais e estruturais diferentes, perde-se o efeito de grupo pela falta de encaixe das paredes novas às existentes, situação que potencia o desenvolvimento de danos significativos.



Fonte: Jornal República



Fonte: TSF online



Fonte: Diário de Notícias

Figura 10: Manchete do jornal República e imagens de danos registados na sequência do terramoto de 1969 – o maior terramoto ocorrido em Portugal Continental desde 1755

Em Portugal Continental, um sismo mais recente, em 1969, provocou danos significativos em edifícios de alvenaria, sobretudo em edifícios de adobe e taipa, ver Figura 10.

Nas regiões insulares Portuguesas, há dois terremotos mais recentes a identificar pelo seu grau de destruição: o sismo de 1980, na Ilha Terceira, e o sismo de 1998, na Ilha do Faial, ambos no arquipélago dos Açores. Sismos de referência que causaram muitos danos nas construções de alvenaria, particularmente nas igrejas que, em ambos os casos, foram severamente danificadas.

Como foi já notado anteriormente, um dos fatores que contribui diretamente para a vulnerabilidade sísmica dos edifícios, e, em consequência, para a sua propensão para sofrer danos na sequência de um evento sísmico, é a sua tipologia, i.e., tipo de sistema estrutural, materiais e características construtivas. Esta, por sua vez, decorre da localização geográfica do próprio edifício (regionalismo), a qual condiciona a disponibilidade dos materiais e justifica a grande diversidade de estruturas antigas de alvenaria em Portugal. Para exemplificar alguns dos muitos casos que temos no país, não só em Portugal Continental, mas também nas ilhas, destacaria os edifícios de granito e xisto, com predominância na região Norte; os edifícios de alvenaria de pedra calcária, característicos zona Centro e da região de Lisboa (ver Figura 11); mais ao Sul, os edifícios de taipa ou adobe; e, nas ilhas, os edifícios em alvenaria de pedra basáltica. Desta diferença material resultam, naturalmente, edifícios de alvenaria com características significativamente diferentes.



Figura 11: Largo da Maracha, Rua do Moreno e Mosteiro de Santa Cruz

Na construção dos edifícios antigos nomeadamente da Baixa de Coimbra, conforme Figura 11, habitações e monumentos, são comuns as alvenarias de grande espessura constituídas por pedra calcária irregular de diferente qualidade.

Estabelece-se uma linha cronológica a partir sismo de 1755, para melhor compreensão da evolução do modelo construtivo dos edifícios existentes, na fase de transição do século XVIII para XIX, com o início da introdução do betão armado em Portugal. Vulgarmente costuma-se identificar esses edifícios por placas, mas certamente são edifícios mistos, com alvenaria e betão armado, mantendo, as paredes de pedra alvenaria o seu papel enquanto estruturas resistentes

verticais. Os primeiros elementos de betão armado surgem fundamentalmente em lajes, tipicamente localizadas nas áreas húmidas dos edifícios (cozinhas e instalações sanitárias). Só após 1960, é que o betão armado se assume em Portugal como sistema estrutural preferencial para a construção de novos edifícios, ver Figura 12.

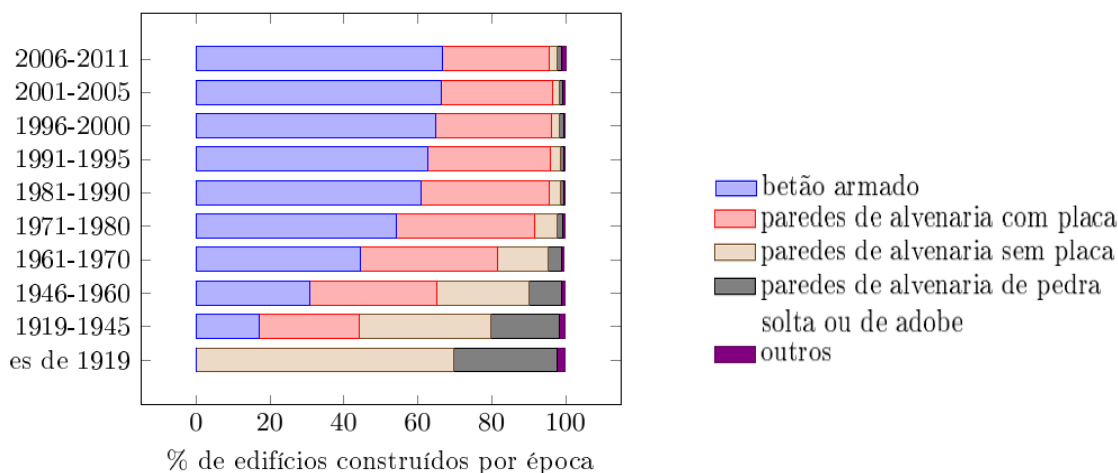


Figura 12: Distribuição de edifícios construídos em Portugal por época, segundo o tipo de estrutura [6]

Com base nos dados do Censos 2011, informação mais recente disponível, temos ainda em Portugal um número muito significativo de edifícios de alvenaria. Se incluirmos os edifícios mistos (de alvenaria e betão armado), estima-se aproximadamente 50% de edifícios com elementos resistentes de alvenaria. Portanto, há que saber lidar com as diferentes estruturas, para avaliar, propor, e dimensionar soluções de reforço.

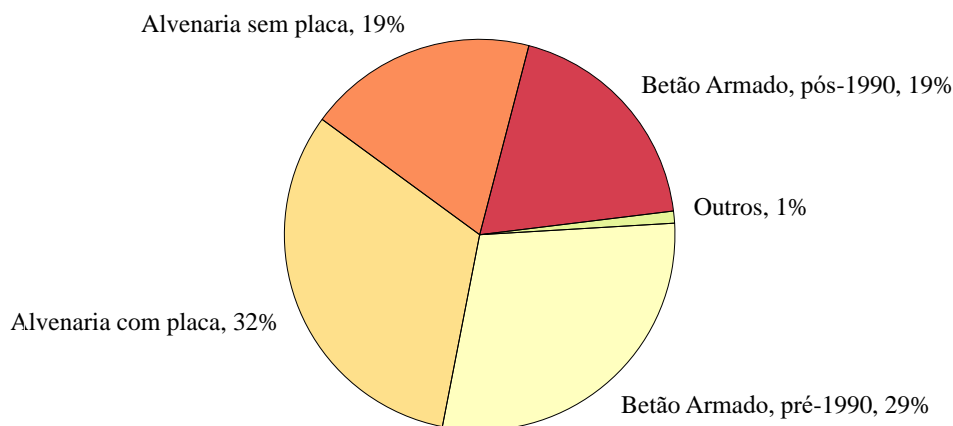


Figura 13: Distribuição dos edifícios em Portugal por tipologia estrutural. 3.544.389 edifícios considerados

2.2 Regulamentação

2.2.1 Introdução e breve enquadramento histórico

Sobre a regulamentação, destaca-se que o primeiro regulamento a contemplar a ação sísmica e o seu dimensionamento data de 1958 – Regulamento de Segurança de Construções Contra os Sismos (RSCCS). Este regulamento propunha um procedimento para avaliação da segurança estrutural do edifício baseada na análise da tensão da rotura dos materiais (dimensionamento em relação à rotura) ou, em alternativa, numa análise baseada na verificação da tensão de segurança admissível, em regime elástico (dimensionamento em fase elástica) [6].

Em 1961, surge o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP), e, em 1983, surge o regulamento que viria a estar vigente até novembro de 2019, o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEP). Este regulamento, avançado para a altura em que é desenvolvido, propunha já métodos mais rigorosos para verificação da segurança sísmica de edifícios, nomeadamente através de análise estática equivalente ou de análise dinâmica (espectro de resposta). Apresenta um novo zoneamento sísmico mais compatível com o conhecimento atual e é, sem dúvida, o regulamento que começa a contemplar de forma adequada a ação sísmica em fase de dimensionamento.

Presentemente, os Eurocódigos, em que já apresentam os anexos Nacionais, com todas as regras para definição da ação sísmica, bem como para o zoneamento sísmico. A Parte 1 do Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1:2010) trata do dimensionamento de estruturas novas, enquanto a Parte 3 (1998-3:2017), incluindo o seu anexo Nacional, fornece as bases para elaboração da avaliação sísmica do edificado existente.

Em 2019, o Decreto-Lei nº 98/2019, que estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas e todos os Diplomas legais que o acompanham efetivamente, que vem alterar de forma significativa a engenharia de estruturas e avaliação do existente. Pela primeira vez o regime é aplicado à realidade de edifícios e unidades autónomas e define claramente as condições de obrigatoriedade da elaboração do relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica das construções. Através do Despacho Normativo nº 21/2019, aprova as condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais. Com a obrigatoriedade do uso dos Eurocódigos na maioria das intervenções, torna-se necessária a avaliação do edificado existente. Atendendo particularmente os edifícios de alvenaria para os quais há frequentemente a necessidade de definir um projeto de reforço sísmico, até porque, recorde-se, a maioria dos edifícios de alvenaria em Portugal foram construídos até 1960 e que, até essa data, praticamente a totalidade dos edifícios de alvenaria não foram dimensionados tendo em conta a ação sísmica.

2.2.2 Decreto-Lei nº 95/2019

Atualmente, o Decreto-Lei nº 95/2019, através da Portaria nº 302/2019 de 12 de setembro, regulamenta e obriga à avaliação de vulnerabilidade sísmica, e ao eventual reforço sísmico, atendendo à manifestação da comunidade científica sensível a essa questão, tendo em vista que essa condição de segurança estrutural vinha sendo ignorada na maioria dos casos, pela ideia de “lembrança curta” do longo período de ocorrência da última exposição.

Não havendo até à entrada em vigor deste Decreto-Lei regras adequadas às exigências e especificidades para reabilitação de edifícios ou frações autónomas, o Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho, bem como as portarias que o regulamentam entraram em vigor a 15 de novembro de 2019, surge com objetivo de passar a reabilitação de edifícios da exceção à regra, tendo um quadro legal e regulamentar diferente do aplicável à construção nova – revogando o Regime Excecional e Temporário da Reabilitação de Edifícios (Decreto-Lei nº 53/2014), assim como os regulamentos nacionais de estruturas, substituindo-os pelos Eurocódigos, amplamente utilizados já pelos técnicos, mas até ao momento, sem força de Lei.

O novo regulamento, cujo papel central é dinamizar a reabilitação de edifícios, estabelece três princípios fundamentais, que devem nortear todas as ações de reabilitação, com o objetivo de melhorar o desempenho geral dos edifícios, assim sendo: Princípio da proteção e valorização do existente; Princípio da preservação ambiental e Princípio da melhoria proporcional e progressiva.

A atuação sobre o edificado existente deve sempre integrar a preocupação de uma adequada preservação e valorização do existente, bem como com a melhoria do desempenho, que deve sempre orientar qualquer intervenção de reabilitação, seja pelos seus valores estéticos, científicos e socioculturais.

Aplicável à reabilitação de edifícios e frações autónomas, o Decreto-Lei n.º 95/2019 traz consigo propostas de alteração regulamentar nos seguintes domínios: RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas); Segurança contra incêndios; Comportamento térmico e eficiência energética; Comportamento acústico; Acessibilidades; e Instalações, ver Figura 14. No domínio de segurança estrutural, inclui a necessidade de realizar um estudo e relatório da vulnerabilidade sísmica após intervenção, independentemente da data da construção original, sempre que se pretenda efetuar uma obra de ampliação, alteração ou reconstrução.

	Alteração regulamentar (ver art. ... do DL 95/2019)	Portaria	Despacho	Método
RGEU		304		
ACESSIBILIDADES	13º e 14º	301		
TÉRMICA	10º e 11º	297 e 303		
ACÚSTICA	12º	305		
INCÊNDIOS	9º			LNEC
TELECOMUNICAÇÕES	15º			
EURCÓDIGOS			SEI	
SÍSMICA (vulnerabilidade)		302		

Figura 14: Alteração regulamentar do regime aplicável à reabilitação de edifícios
Fonte: Seminário sobre o novo regime aplicável à reabilitação de edifícios (17 de setembro de 2019)

Tal como se encontra esquematizado na Figura 14, o artigo 17.º do DL n.º 95/2019 prevê seis portarias, onde estabelece as condições de utilizações dos Eurocódigos, publicado pelo LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, como segue:

- **TÉRMICA e ENERGIA** - Portaria n.º 297/2019, de 9 de setembro, que procede à quarta alteração da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados do SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção;
- **ACESSIBILIDADES** - Portaria n.º 301/2019, de 12 de setembro, que define o método de projeto para a melhoria da acessibilidade das pessoas com mobilidade condicionada em edifícios habitacionais existentes.
- **VULNERABILIDADE SÍSMICA** - Portaria n.º 302/2019, de 12 de setembro, que define os termos em que obras de ampliação, alteração ou reconstrução estão sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica, bem como as situações em que é exigível a elaboração de projeto de reforço sísmico;
- **CUSTOS-PADRÃO** - Portaria n.º 303/2019, de 12 de setembro, que fixa os custos-padrão, definidos por tecnologia, sistema, ou elemento construtivo que permitem quantificar o custo das intervenções para operações de reabilitação;

- RGEU - Portaria n.º 304/2019, de 12 de setembro, que define os requisitos funcionais da habitação e da edificação aplicáveis às operações de reabilitação em edifícios ou frações autónomas com licença de construção emitida até 1 de janeiro de 1977, sempre que estes se destinem a ser total ou predominantemente afetos ao uso habitacional;

- ACÚSTICA - Portaria n.º 305/2019, de 12 de setembro, que fixa as normas técnicas dos requisitos acústicos em edifícios habitacionais existentes;

A Portaria n.º 302/2019, define as situações em que as reabilitações de edifícios ficam sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica, contribuindo para garantir que estas intervenções salvaguardem as questões de segurança estrutural, ver Figura 15.

	Todos os edifícios	Exceções já previstas na LEI	Obrigatório	Facultativo (pode optar pela legislação corrente)
RGEU	●			○
ACESSIBILIDADES	●			○
TÉRMICA		●		○
ACÚSTICA	○	●		○
INCÊNDIOS		●		○
TELECOMUNICAÇÕES		●		○
EURCÓDIGOS	●		○	
SÍSMICA (vulnerabilidade)	●		○	

Figura 15: Abrangência do novo regime aplicável à reabilitação de edifícios

Fonte: Seminário sobre o novo regime aplicável à reabilitação de edifícios (17 de setembro de 2019)

O enquadramento legal para avaliação de vulnerabilidade sísmica e reforço de edifícios existentes em alvenaria é dado pelo Decreto Lei n.º 95/2019 e pela Portaria n.º 302/2019, que definem a necessidade de avaliação na reabilitação de edifícios. Em edifícios com sinais evidentes de degradação, deve-se sugerir intervenção de maneira a apresentar soluções de reabilitação e reforço, para manter ou melhorar o comportamento estrutural dos edifícios. É inaceitável que até então não exista relatório de avaliação de edifícios existentes em regiões onde há riscos moderados e elevados.

De acordo com o Despacho Normativo n.º 21/2019 – Eurocódigos Estruturais, para Projeto de estruturas para resistência aos sismos –, devem ser cumpridas: as regras para edifícios (NP EN 1998-1); avaliação e reabilitação de edifícios (NP EN 1998-3) e aspetos geotécnicos na NP EN 1998-5. Este Despacho prevê um período de transição de 3 anos em que ainda podem ser

atualizados estes regulamentos anteriormente em vigor, com avisos através do Diário da República, a contar da data de publicação do Despacho.

Estão sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica do edifício as obras de ampliação, alteração ou reconstrução, sempre que se verifique uma das seguintes condições: Existência de sinais evidentes de degradação da estrutura; Alteração do comportamento estrutural do edifício; Área intervencionada > 25% da área bruta de construção do edifício e o Custo de construção > 25% do custo de construção nova de edifício equivalente.

O relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício é ainda obrigatório, no caso de edifícios das classes de importância III ou IV (NP EN1998-1 –escolas, salas de reunião, instituições culturais, hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas), sempre que se verifique alguma das situações previstas no número anterior, com redução para 15% dos limites de área e custo.

Quando o relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício concluir que este não satisfaz as exigências de segurança relativas a 90% da ação definida na norma NP EN1998-3, é obrigatória a elaboração de projeto de reforço sísmico, ao abrigo da mesma norma. Pretende-se garantir que edifícios de elevada classe de importância em termos sísmicos, bem como quando sejam identificados sinais de degradação da estrutura, ou das quais resultem alterações estruturais ou de utilização, se proceda à avaliação da vulnerabilidade sísmica, o mesmo sucedendo em todas as intervenções de grande envergadura.

Compete ao LNEC a publicação ou aprovação de disposições construtivas ou métodos de análise expedita da vulnerabilidade sísmica que apoiem a elaboração do relatório de vulnerabilidade sísmica, para tipologias de edifícios, localizações e tipos de intervenção específicos.

Este novo regulamento veio para flexibilizar a reabilitação, com o intuito de incentivar as pequenas intervenções, fundamentais para melhoria da qualidade de vida e da vida útil dos edifícios, preservando o património edificado e seu entorno.

2.2.3 Desafios da aplicação do quadro regulamentar em vigor aos edifícios da Baixa de Coimbra

Entretanto, para uma grande parte dos edifícios da Baixa de Coimbra, que possuem tipologia de fachada estreita e áreas inferiores às áreas mínimas regulamentares, torna-se inviável a reabilitação para as condições de habitabilidade moderna, que exigem alterações nas formas e dimensões das caixas de escadas – tipicamente muito estreitas e com elevado declive – nas

dimensões dos corredores, por questões óbvias de acessibilidade, e na compartimentação do espaço, resultando em alterações em mais de 25% da área bruta de construção do edifício.

“Está em causa a má qualidade de um parque habitacional envelhecido e degradado, a carência de infraestruturas e a inadequação das tipologias dos fogos às necessidades das famílias” [1].

A título de exemplo, refira-se o caso real do edifício ilustrado na Figura 16. O edifício sofreu uma intervenção de caráter “cosmético” exterior e recebeu uma cobertura “nova”, implantada a uma cota 1,50 m acima da cota original do edifício, o que torna a intervenção não regulamentar. O edifício, com aproximadamente 3,00 m de frente, encontra-se atualmente em elevado estado de degradação, não apresentando quaisquer condições de habitabilidade. Teve recentemente uma proposta para reabilitação que envolvia a criação de cinco estúdios, a qual foi rejeitada pelo poder público, pela impossibilidade de readequação dos compartimentos, escadaria, etc., sendo possível apenas uma habitação vertical unifamiliar T2, ou seja, uma “restauração” do existente. Tal situação torna o investimento inviável sob o ponto de vista econômico e comercial, sendo potencialmente mais um caso de um edifício que ficará desocupado na Baixa de Coimbra.



Figura 16: Rua Eduardo Coelho, nº 16, Baixa de Coimbra.

2.3 Avaliação sísmica do edifício existente de alvenaria

Relativamente à avaliação sísmica de um edifício existente, há uma série de etapas a serem seguidas. A primeira etapa é conhecer o existente – particularmente os materiais e o sistemas estrutural e construtivo do edifício. A diversidade de materiais, já discutida anteriormente, aumenta a incerteza associada à caracterização de forma adequada dos materiais constituintes das paredes.

Em termos gerais, para fazer a avaliação do existente, deverão ser seguidas as recomendações contidas na Parte 3 do Eurocódigo 8 e no respetivo Anexo Nacional (NP EM 1998-3:2017). Sendo um edifício de alvenaria, a avaliação é feita com base no Anexo C.

Por uma série de razões, não há muita informação das estruturas para atender à exigência de uma análise não linear, que requer mais do que conhecer o módulo de elasticidade dos materiais. Portanto, para realizar uma análise não-linear, é necessário um esforço adicional para conhecer o existente, o que se traduz, tipicamente, (e para além das necessárias inspeções ‘in situ’) à realização de uma campanha experimental para determinação do nível de conhecimento que está diretamente ligado ao coeficiente de confiança da estrutura, e cujo conhecimento permite definir os valores médios dos materiais a serem utilizados para a caracterização da capacidade resistente. Com base no nível de conhecimento que temos da estrutura, pode-se definir o coeficiente de confiança, traduzido num Knowledge Level (KL), e, a partir daí, proceder à escolha do tipo análise de realizar.

Sempre que exista pouco conhecimento da estrutura, por razões de segurança os valores médios de resistência deverão ser reduzidos, através da sua divisão por um coeficiente de segurança igual ou superior a 1.0 (definido com base no KL). Níveis de conhecimento mais limitados obrigam à adoção de coeficientes de segurança mais elevados – 1.35 ou 1.20, respectivamente para KL1 e KL2. Ao contrário, um nível de conhecimento mais elevado (KL3), permite a adoção de um coeficiente igual à unidade.

Para além disso, as contribuições desses ensaios podem ser uma mais valia para calibração dos modelos numéricos e obtenção das frequências fundamentais para calibração dos modos de vibração. Um dos principais resultados que pode ser obtido para avaliar o tipo de modelo numérico que se quer desenvolver.

Feito isso, segue-se para o principal passo do procedimento, que é a avaliação sísmica prevista na Parte 3 do EC8.

Nos edifícios de alvenaria pode-se ter dois comportamentos diferentes, com diferentes abordagens para cada tipo de comportamento. O primeiro tipo de comportamento, caracterizado por uma resposta local (ilustrada na Figura 17), corresponde às paredes das fachadas cuja falta

de ligações entre paredes e elementos estruturais transversais (paredes perpendiculares, pisos e cobertura), poderá levar à rotação para fora do plano da parede de fachada – tal como discutido anteriormente na Secção 2.1. Caso seja possível mobilizar a estrutura e avaliar a segurança como um todo, fica caracterizado o segundo tipo de comportamento, de resposta global do edifício.

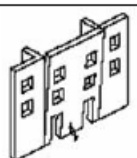
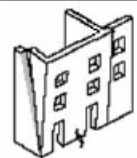


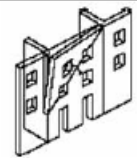
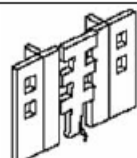
Mecanismo A		
Derrube	Ocorre quando existe uma fraca ligação da parede de fachada às paredes laterais, ou quando essa ligação é insuficiente para impedir a separação da parede.	
Mecanismo B		
B1 - Derrube com rotura de uma parede lateral	Ocorre quando a ligação é suficiente para envolver, além da parede de fachada, respectivamente, uma ou duas paredes laterais de sofrerem derrube.	
B2 - Derrube com rotura das duas paredes laterais	Este mecanismo só acontece quando a ligação entre a parede de fachada e a/ou as paredes laterais é suficiente executada correctamente.	
Mecanismo C		
Colapso do cumhal	Ocorre quando o cumhal do edifício se encontra livre, ou seja, sem estruturas adjacentes que o impeçam de executar um movimento de rotação.	
Mecanismo D		
Derrube parcial	Ocorre quando apenas uma parte da fachada se encontra sujeita a derrube e as paredes laterais não são directamente mobilizadas no mecanismo.	
Mecanismo E		
Faixa de derrube vertical	Ocorre quando a disposição das aberturas na fachada pode comprometer a integridade estrutural desta no seu plano, levando a roturas parciais.	

Figura 17: Mecanismos de colapso para fora do plano de paredes de fachada segundo D’Ayala e Speranza. Adaptado de [2].

Em relação à resposta local, importa ressaltar que, embora esse comportamento seja responsável por um considerável número de mortes associados à queda das paredes das fachadas para fora do plano (ver Figura 18), a versão atual do Eurocódigo 8 não contempla ainda essa verificação, devendo esta, por isso, ser realizada com recurso a abordagens de verificação complementares. Isto porque a não obrigatoriedade regulamentar desta avaliação local, não isenta os técnicos responsáveis da ética profissional de garantir que esse comportamento seja evitado.



Figura 18: Amatrice, Itália – 24/08/2016 (Foto: Massimo Percossi/ANSA/AP)

Para uma análise da segurança para fora do plano, é necessário identificar quais são os mecanismos de colapso suscetíveis para ocorrer na estrutura em questão. Isso resulta de uma observação ‘in situ’ se há ou não alguma restrição imposta dos edifícios adjacentes, presença de tirantes, etc., e de alguma experiência pessoal para identificar possíveis danos desse tipo de estrutura. Com base nos dados extraídos desta observação, é possível decidir quais são os mecanismos de colapso que têm probabilidade de serem ativados.

Identificados os mecanismos, procede-se a análise cinemática não-linear para verificação da segurança desse elemento. Para isso, admite-se que as paredes funcionam como um corpo rígido, e compara-se a aceleração espectral que provoca a formação desse mecanismo de corpo rígido, com o valor da aceleração espectral a que a parede vai estar sujeita. Esta análise cinemática não-linear para verificação de segurança para fora do plano, baseada na verificação dos mecanismos de colapso suscetíveis de ocorrer, é uma abordagem que se encontra já completada em vários softwares comerciais de análise estrutural.

Na hipótese em que o edifício vai ter uma resposta global, a Parte 3 do Eurocódigo 8, NP EN 1998-3:2017, propõe duas abordagens de análise linear; duas análises não lineares e uma abordagem por coeficiente de comportamento q (Tabela 1).

Tabela 1 : Tipos de análises para uma resposta global

Tipo	Métodos de Análises
Lineares	Análise por forças laterais
	Análise modal por espectro de resposta
Não Lineares	Análise estática não linear (pushover)
	Análise dinâmica temporal não linear
Outra	Abordagem por coeficiente de comportamento, q

A análise por coeficiente de comportamento, q , não é certamente a abordagem a ser usada em edifícios de alvenaria, pela variedade de tipologias existentes. Ressalta-se que os valores tecidos do comportamento de edifícios de alvenaria não são referidos no Anexo C, da Parte 3, do Eurocódigo 8.

Portanto, resta-nos as análises lineares e não lineares. No Anexo C, na seção C.3.2 os métodos lineares nas análises estáticas equivalentes e análise modal por espectro de resposta, só podem ser usadas para edifícios de alvenaria.

Os edifícios de alvenaria não se enquadram nas condições previstas no ponto C.3.2 iii, por não apresentarem comportamento rígido no plano dos pavimentos e ligações destes às paredes periféricas.

Diante do exposto, a avaliação do desempenho sísmico dos edifícios de alvenaria é através da análise não linear.

Para atender a um comportamento não linear, há várias abordagens possíveis. A abordagem de análise de pórtico equivalente, mais simples que modelação por elementos finitos, baseia-se na análise de danos observados em edifícios de alvenaria no passado. Os danos para o comportamento não linear concentram-se nos elementos verticais e horizontais, entre aberturas, a depender da geometria e nível de esforço normal. Com base nessa observação, desenvolvem-se macro elementos e admite-se que essas zonas não terão danos e terão um comportamento rígido, o que simplifica a abordagem e a modulação da estrutura para um comportamento não linear.

3 Metodologia e caso de estudo

3.1 Avaliação dos edifícios da Baixa de Coimbra

Em termos gerais, este trabalho foca em gerar conhecimentos através da atualização de dados para aplicações práticas com vista à proposta de solução de problemas específicos na área da reabilitação de edifícios, utilizando como objeto de estudo a Baixa de Coimbra.

Pela importância histórica, o ponto de partida para o processo de levantamento de cada um dos edifícios e gestão das informações teve como referência a Praça 8 de Maio. Esta região também é conhecida como a Baixinha, arquétipo de grande degradação e descaracterização urbana situada paradoxalmente no coração da cidade de Coimbra, a alguns passos apenas do Mosteiro de Santa Cruz e da emblemática Rua da Sofia, outrora núcleo central estruturante para a evolução do urbanismo nos primeiros séculos da nacionalidade portuguesa e para definição da cidade.

Inicialmente, foi atualizada a planta do perímetro de estudo a partir da simbólica Rua Direita, porta do núcleo urbano medieval. Território intermédio entre o núcleo urbano e o seu aro rural, foi morada diversificada entre trabalhadores agrícolas e artesãos e, durante a idade média, albergava aqueles que procurassem Coimbra para sua residência. Visível sensorialmente, este espaço distinguiu-se, desde cedo, pela forma como a sua morfologia urbana foi sujeita a drásticas transformações. Resistiu a ação fluvial, às cheias e enxurradas do Mondego, associadas as intervenções urbanísticas, que alteraram irreversivelmente aquele território, deixando praticamente irreconhecível o seu perfil original. O seu tecido urbano, encontra-se já consolidado nos séculos XII/XIII, e caracteriza-se por uma elevada densidade ocupacional do solo, quarteirões irregulares, arruamentos estreitos, pequenas praças e largos de configuração orgânica [7].

Com mais uma proposta de intervenção, a Avenida Central, que divide a Baixinha em duas partes, uma voltada para o norte e outra para o sul, espera-se maior identificação dos seus habitantes com o património, para além de uma maior atratividade para toda a comunidade não só da Baixa, mas de Coimbra.

Desta forma, talvez não permaneça na memória dos Conimbricenses como um lugar descurado e mal frequentado, imagem essa tão pouco desejável quanto injusta para o papel que desempenhou no desenvolvimento urbano da cidade que conhecemos hoje. Devido a alterações significativas que têm vindo a ocorrer após 2009, a planta do perímetro de estudo foi atualizada através de medições diretas expeditas. Com a abertura de parte da Avenida Central e região

onde está previsto o seu prolongamento, vários edifícios foram expropriados e demolidos para viabilização da obra. Através de imagens aéreas, foi possível identificar outras alterações impossíveis de serem vistas das ruas estreitas e sem condições de visualização através de fachadas, muitas vezes sem pavimentos e coberturas. A Figura 19 apresenta a área de estudo considerada neste trabalho.

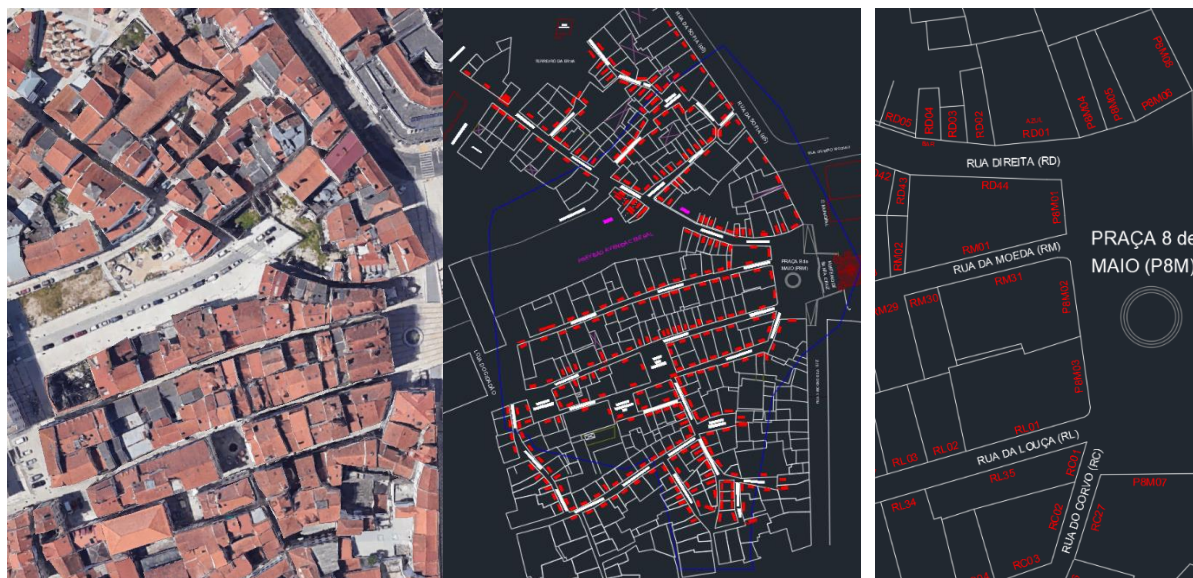


Figura 19: Definição da área de estudo e detalhe da codificação das fachadas dos edifícios

A atualização inicial foi necessária para que a inventariação e codificação fosse compatível com a quantidade de edifícios existentes para efeito de comparação com os resultados obtidos por [2]. Deste modo, apresenta-se inicialmente uma breve descrição dos levantamentos realizados com vista à obtenção da informação necessária para aplicar a referida metodologia.

3.2 Organização do trabalho de campo e gestão da informação

A origem dos levantamentos foi a Praça 8 de Maio, de onde foram iniciados os trabalhos de campo das Ruas que dali partem e, posteriormente, as restantes ruas transversais e diagonais que aqui convergem. A codificação foi executada a partir do primeiro edifício, do lado direito, da simbólica Rua Direita, com uma numeração sequencial, indo por esse lado até o final da rua e retornando pelo outro lado até o ponto de origem – a Praça 8 de Maio. O código é constituído pelas letras iniciais que denominam as ruas, seguida da numeração sequencial. A primeira rua levantada pelo seu grau de importância foi a Rua Direita, com o código RD, seguido de um número sequencial, desde RD01 (primeiro edifício do lado direito) até RD44 (último edifício do lado esquerdo), retornando assim ao ponto de origem que é a Praça 8 de Maio. Em seguida a Rua da Moeda, RM01 (primeiro edifício do lado direito) até RM31 (último edifício do lado

esquerdo), retornando ao ponto de origem, Praça 8 de Maio. Posteriormente a Rua da Louça, RL01 até RL35 e assim sucessivamente. A criação dessa rotina, veio a simplificar a procura pela identificação dos códigos em relação a sua localização na planta, útil na fase da criação de informação espacial e mapeamento de resultados.


A área de estudo demonstrada na Figura 19, abrange uma área inicial do projeto de 31.469 m² e um perímetro de 762 m. No entanto, por ter sido considerado interessante manter a continuidade de algumas ruas que ficariam interrompidas e para incluir agregados completos, o limite do perímetro previamente determinado foi expandido, passando para uma área final de 42.054 m² e um perímetro de 849 m. Os limites finais compreendem 1 praça, 14 ruas, 1 travessa, 1 beco, 4 largos e 1 terreiro (ver Tabela 2)


Tabela 2 : Resumo da coleta e organização de dados

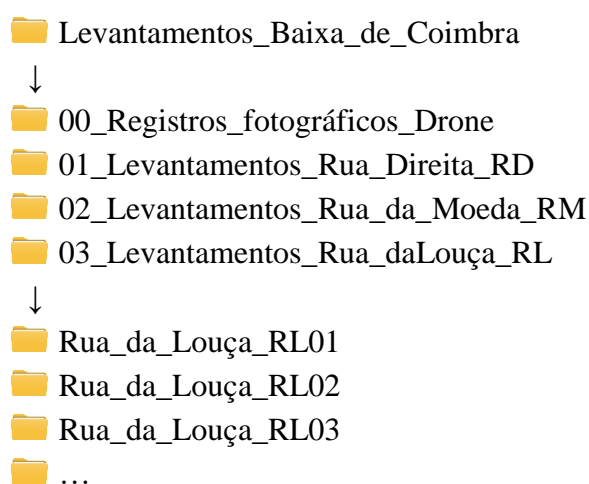
Descrição	Código	Sequência	Fachadas	Fotos	Fichas
Praça 8 de Maio	P8M__	P8M01 a P8M11	11	284	55
Rua Direita	RD__	RD01 a RD44	46	844	230
Rua da Moeda	RM__	RM01 a RM31	31	374	155
Rua da Louça	RL__	RL01 a RL35	35	760	175
Rua do Corvo	RC__	RC01 a RC27	27	701	135
Largo do Poço	LP__	LP01 a LP03	03	114	15
Largo da Maracha	LM__	LM01 a LM07	06	203	30
Rua Eduardo Coelho	REC__	REC01 a REC25	25	869	125
Rua da Fornalhinha	RF__	RF01 a RF06	06	124	30
Largo da Fornalhinha	LF__	LF01 a LF04	03	83	15
Largo da Freiria	LFR__	LFR01 a LFR07	06	173	30
Rua Velha	RV__	RV01 a RV07	07	198	35
Travessa da Rua Velha	TRRV__	TRRV01 a TRRV07	07	235	35
Rua das Padeiras	RP__	RP01 a RP21	21	373	105
Rua do Almojarife	RA__	RA01 a RA11	11	303	55
Rua da Sofia	RS__	RS01 a RS14	09	317	45
Rua Nova	RN__	RN01 a RN19	19	298	95
Rua do Arco do Ivo	RAI__	RAI01 a RAI10	10	89	50
Rua do Moreno	RMO__	RMO01 a RMO15	15	125	75
Terreiro do Marmeleiro	TM__	TM01 a TM09	09	76	45
Rua da Gala	RG__	RG01 a RG19	19	425	95
Beco do Castilho	BC__	BC01 a BC06	06	55	30
			342	7023	1660


Através deste levantamento, com o perímetro final estabelecido para esse estudo, recolheu-se informações compreendendo um universo de 284 edifícios, 342 fachadas, totalizando 1660 fichas para ações de levantamento e 7023 registros fotográficos.

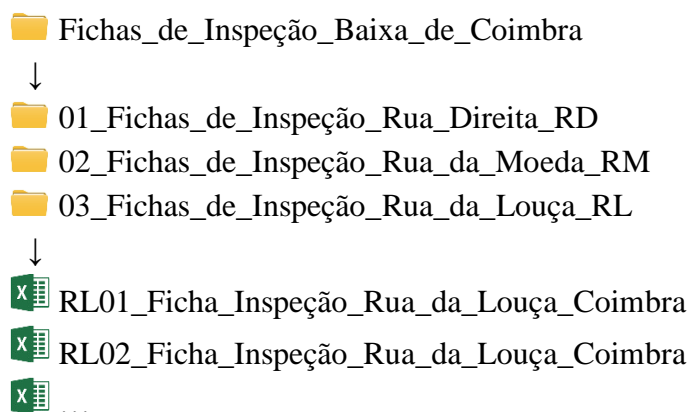
Os ficheiros relativos aos levantamentos foram organizados em pastas separadas e estão disponibilizados online em <https://doi.org/10.5281/zenodo.5600499> da seguinte forma:

 Planta_Baixa_do_Perímetro, contendo um arquivo DWG com indicação dos respetivos códigos de referência de cada unidade, como referido anteriormente;

 Levantamentos_Baixa_de_Coimbra, onde consta toda documentação fotográfica separada por descrição e subdividida com outras pastas, também separadas por edifícios com seus respetivos códigos de referência;



 Fichas_de_Inspeção_Baixa_de_Coimbra, com todas as fichas de levantamento presencial “in situ”, descritas detalhadamente a seguir, também separadas por descrição e subdividida com outras pastas individuais por edifícios, com seus respetivos códigos de referência;



Os levantamentos foram realizados de maneira a atender a metodologia adotada por [2], em 2009, e por [5], em 2008, aplicadas em diferentes centros históricos de Portugal, pelo que não foi necessário adaptar a adequabilidade dos procedimentos e ferramentas utilizadas.

O método do levantamento é constituído por avaliação presencial ‘in situ’. As formas de registros foram através de observação direta das anomalias, da geometria dos elementos relevantes das fachadas e registros fotográficos para composição das fichas de inspeção. Também foram observadas as características do exterior e inferido algumas singularidades internas com base nas tipificações levantadas e detalhadas do Edificado da Baixa de Coimbra por [2]. Por se tratar de edifícios antigos, sem disponibilidade de projetos e com a impossibilidade de observação interna, alguns parâmetros foram definidos a partir de informações adicionais com base na experiência pessoal, no bom senso e conhecimentos geral sobre o edificado antigo.

Toda a informação de dados levantados por [5] e [2] não foram consultados, ou disponibilizados, para salvaguardar que as informações anteriores não comprometer o exercício de avaliação que se desenvolveu e os resultados.

Como referido anteriormente, cada edifício possui um código correspondente indicado na planta atualizada constante no Anexo A, em <https://doi.org/10.5281/zenodo.5600499>, e são identificados por este código nas fichas de inspeção, como destacado na Figura 20.

Ficha para acções de levantamento - Baixa de Coimbra		F1
IDENTIFICAÇÃO DO EDIFÍCIO		
1. GENERALIDADES:		
Código do Edifício: RD01	Data de Inspeção: 01/09/2020	
Freguesia: <u>Baixa de Coimbra</u>	Ano de Construção: <u>Anterior a 1900</u>	
Endereço: <u>Rua Direita, RD01 = 13R24</u>		
Utilizador: _____	Contacto: _____	
1.1 CLASSIFICAÇÃO DO EDIFÍCIO:	1.2 TIPO DE UTILIZAÇÃO:	
<input checked="" type="checkbox"/> Privado <input type="checkbox"/> Público	<input type="checkbox"/> Habitação unifamiliar <input checked="" type="checkbox"/> Habitação multifamiliar	
1.3 INTERESSE ARQUITECTÓNICO:	<input checked="" type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Religiosa <input type="checkbox"/> Outra Qual?	

Figura 20: Identificação do Edifício por um Código correspondente

O processo de inventariação das informações foi feito através de anotações diretas nas fichas de levantamento e resultou na inspeção “in situ” de 342 fachadas, de um total de 284 edifícios inseridos na área de estudo.

**Estudo Comparativo do Estado de Conservação,
Processos de Descaracterização e Análise Simples de
Vulnerabilidade Sísmica da Baixa de Coimbra**

As fichas F1 apresentam a identificação dos edifícios. Nas fichas F2, F3, F4 e F5 constam informações dos levantamentos necessários, tais como, características das paredes das fachadas, pavimentos, coberturas e elementos secundários, para determinação do índice de vulnerabilidade da parede de fachada, I_{vf} .

Os levantamentos das coberturas para identificar a constituição, a geometria, as patologias, bem como o estado de conservação global e outras singularidades imprescindíveis à verificação da natureza impulsiva sobre as paredes das fachadas, foram realizados por via aérea, com recurso a um Drone DJI Mavic 2 Pro, cujas imagens também estão disponibilizadas online em <https://doi.org/10.5281/zenodo.5600499>.

A recolha das informações durante as ações de campo, são apresentadas em forma de fichas de inspeção, disponibilizadas no Anexo A do presente documento. As cinco fichas utilizadas são as mesmas desenvolvidas por [5], e posteriormente utilizadas em diversos trabalhos de levantamento similares, e cujo conteúdo objetiva caracterizar de maneira completa o conjunto de edifícios em estudo, a saber:

- F1 – Informações gerais e identificação do edifício
- F2 – Paredes de fachada
- F3 – Diafragmas horizontais referente aos pavimentos
- F4 – Cobertura
- F5 – Levantamento estrutural

O diagrama mostra a hierarquia das fichas de levantamento para a Baixa de Coimbra, com as fichas F1 a F5 empilhadas e sobrepostas. Cada ficha contém campos de dados específicos:

- F1 - Identificação do Edifício:** Campos para Código do Edifício (P8M07), Data de Inspeção (05/12/2020), Freguesia (Baixa de Coimbra), Ano de Construção (Anterior a 1900), Endereço (Praça 8 de Maio, P8M07=68R13), Utilizador, Contacto, Classificação do Edifício (Privado, Público, Habitação unifamiliar, Habitação multifamiliar), Interesse Arquitectónico (Sim, Não) e Tipologia Estrutural.
- F2 - Paredes de Fachada:** Campos para Orientação (NORTE), Largura da fachada (13m), Observações, Existência de aberturas de grande vão na fachada, Regularidade (Regular, Irregular).
- F3 - Diafragmas Horizontais (Pavimentos):** Campos para Caracterização do Suporte (Número de pavimentos, Tipo: Madeira/Aparelhada/Não aparelhada, Perfis Metálicos), Estado de Conservação, Singularidade (Sim, Não), Piso Térreo (Lajes c/desnível), Dimensões da Madeira (Barrotes h, b, φ).
- F4 - Coberturas:** Campos para Geometria da Cobertura (Tipo: Plana, Terraço/plano), Constituição da Zona Corrente (Terraço/plano), Inclinação da Cobertura (Suficiente, Insuficiente), Singularidade (Lanternim, Calceira Interiores), Estado de Conservação.
- F5 - Levantamento Estrutural:** Campos para Interação entre Edifícios (Altura dos Edifícios), Tipo e Organização (Existência de terraços, Existência de pavimentos), Patologias (Fendas: Essencialmente verticais, Essencialmente horizontais, Abaulamento: Carga excessiva), Evolução das Fendas.

Figura 21: Fichas para ações de levantamento – Baixa de Coimbra

Todas as informações recolhidas numa ação de identificação e equivalência para comparação, inspeção e caracterização, permitiram a avaliação de 14 parâmetros estabelecidos na metodologia de avaliação da vulnerabilidade sísmica já aplicado à Baixa de Coimbra e a aplicar de novo no âmbito deste trabalho. Esta metodologia será apresentada nas seções seguintes.



Figura 22: Material constituinte da parede de alvenaria da fachada do LM01 e RMO08.

Segundo uma abordagem qualitativa e quantitativa, as informações inventariadas serão transferidas e compiladas em uma planilha para determinação do índice de vulnerabilidade da fachada (I_v), apresentada na Secção 3.3. Em seguida, tratadas estatisticamente, o que facilitará a sua análise e permitirá construir e fundamentar hipóteses.

3.3 Aplicação da metodologia

O presente estudo sobre a avaliação da vulnerabilidade sísmica dos edifícios antigos de alvenaria da Baixa de Coimbra, como referido anteriormente, foi realizado de maneira a atender a metodologia aplicada por [5], em 2008, e [2] em 2009.

A metodologia adotada é a metodologia de avaliação da vulnerabilidade dos edifícios, desenvolvida e proposta em 2008, por [5], na sua tese de doutoramento, aplicada ao centro histórico da Baixa de Coimbra. Baseia-se no cálculo de um índice de vulnerabilidade para cada edifício, como uma média ponderada de 14 parâmetros. Cada parâmetro é classificado em 4 classes de vulnerabilidade, C_{vi} , nomeadamente: A, B, C e D, e avalia um aspeto que influencia

o desempenho sísmico do edifício (escolhendo a classe de vulnerabilidade que melhor a caracteriza). A cada parâmetro é associado um peso, p_i , variando desde 0.5, para os parâmetros menos importantes, até 1.5, para os parâmetros com maior importância na vulnerabilidade do edifício (Tabela 3).

Tabela 3 : Índice de vulnerabilidade, parâmetros que o definem, e respetivos pesos associados. Tabela extraída de [5]

PARÂMETRO	Classe C_{vi}				Peso	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE
	A	B	C	D	p_i	
P1	Tipo e organização do sistema resistente	0	5	20	50	0.75
P2	Qualidade do sistema resistente	0	5	20	50	1.00
P3	Resistência convencional	0	5	20	50	1.50
P4	Distância máxima entre paredes	0	5	20	50	0.50
P5	Altura do edifício	0	5	20	50	1.50
P6	Posição do edifício e fundações	0	5	20	50	0.75
P7	Localização e interação	0	5	20	50	1.50
P8	Irregularidade em planta	0	5	20	50	0.75
P9	Irregularidade em altura	0	5	20	50	0.75
P10	Desalinhamento de aberturas	0	5	20	50	0.50
P11	Diafragmas horizontais	0	5	20	50	1.00
P12	Tipo de cobertura	0	5	20	50	1.00
P13	Danos estruturais identificados	0	5	20	50	1.00
P14	Elementos não-estruturais	0	0	20	50	0.50

$$I_v^* = \sum_{i=1}^{14} C_{vi} \times p_i$$

$$0 \leq I_v^* \leq 650$$

(Índice normalizado, $0 \leq I_v \leq 100$)

O valor do índice de vulnerabilidade, I_v^* , varia entre 0 e 650, mas é mais comum usar-se o valor do índice de vulnerabilidade normalizado, I_v , variando no intervalo de 0 a 100 (soma ponderada normalizada). Este valor é na verdade uma pontuação atribuída ao edifício e constitui um passo intermédio na estimativa de dano associada a um nível de ação sísmica definido pela intensidade I , medida na escala macrossísmica EMS-98 [8].

Cálculo do índice de vulnerabilidade do Edifício

Índice de Vulnerabilidade - EDIFÍCIO											
Edifício:		Agregado:			Data de Inspeção:						
Localização:					Equipa:						
Parâmetros de avaliação					Classe e pontuação		P _i	C _{v,XP}	GC	Notas e esquemas	
1. Sistema resistente											
P1	Tipo e organização do sistema resistente				A	B	C	D	0.75		
					0	5	20	50			
P2	Qualidade do sistema resistente				A	B	C	D	1.00		
					0	5	20	50			
P3	Resistência convencional				A	B	C	D	1.50		
					0	5	20	50			
P4	Distância máxima entre paredes				A	B	C	D	0.50		
					0	5	20	50			
P5	Altura do edifício				A	B	C	D	1.50		
					0	5	20	50			
P6	Posição do edifício e fundações				A	B	C	D	0.75		
					0	5	20	50			
2. Interação e irregularidades											
P7	Localização e interação				A	B	C	D	1.50		
					0	5	20	50			
P8	Irregularidade em planta				A	B	C	D	0.75		
					0	5	20	50			
P9	Irregularidade em altura				A	B	C	D	0.75		
					0	5	20	50			
P10	Desalinhamento de aberturas				A	B	C	D	0.50		
					0	5	20	50			
3. Pavimentos e cobertura											
P11	Diafragmas horizontais				A	B	C	D	1.00		
					0	5	20	50			
P12	Tipo de cobertura				A	B	C	D	1.00		
					0	5	20	50			
4. Estado de conservação											
P13	Danos estruturais identificados				A	B	C	D	1.00		
					0	5	20	50			
5. Elementos não-estruturais											
P14	Elementos não-estruturais				A	B	C	D	0.50		
					0	0	20	50			
Índice final								<input type="text"/>	<input type="text"/>	GC: Grau de confiança	

Figura 23 : Ficha de avaliação desenvolvida por Vicente, 2008 [5]

Esta metodologia aplicada à escala do edifício serviu de base à metodologia de avaliação de vulnerabilidade sísmica de paredes de fachada, que poderá ser consultada na íntegra em [2].

Nas páginas finais deste documento, Anexo B, apresentam-se os 10 parâmetros de avaliação da vulnerabilidade utilizados e as respectivas definições de classe de vulnerabilidade associadas a cada um deles.

À semelhança do que acontece na metodologia destinada a avaliar edifícios, a avaliação do índice de vulnerabilidade sísmica da fachada é calculada através da avaliação de 13 parâmetros associados às características geométricas, mecânicas e do estado de conservação. Estes parâmetros são classificáveis em 4 classes de vulnerabilidade crescente: A, B, C e D. Cada parâmetro avalia um aspeto que influencia a resposta sísmica da fachada do edifício, calculando ou definindo a classe de vulnerabilidade, pela análise de diferentes aspetos. A cada parâmetro é associado um peso que varia entre 0.5 para os parâmetros menos importantes e 0.75 para os

parâmetros mais importantes no cálculo do índice de vulnerabilidade (ver Tabela 4). O índice de vulnerabilidade da fachada de um edifício, I_{vf} , poderá variar entre 0 e 100, sendo que quanto menor for o seu valor, menor será a vulnerabilidade da fachada. Como se pode observar na Tabela 4, os parâmetros P5 e P6 assumem-se como os mais importantes. Estes parâmetros estão relacionados com o tipo de material constituinte da alvenaria da parede de fachada e com o estado de conservação.

Os edifícios do centro histórico da Baixa de Coimbra são de interesse arquitetónico e por esse motivo, protegidos pelas instituições municipais. É expectável, por isso, que de 2009 para cá tenham poucas alterações e/ou continuem os mesmos. Como o escopo do presente trabalho é o estudo exploratório de observação externa direta e superficial das paredes das fachadas, não permitindo intervenções invasivas nas paredes de alvenaria para caracterização dos materiais, foi adotado de maneira geral o parâmetro P5, relacionado com o tipo de material constituinte da parede da fachada, como sendo da Classe C, com uma pontuação igual a 20, de qualidade média a baixa, apresentando irregularidades de dimensões e de assentamento, características estas amplamente estudadas por [5] e [2], onde está bem demonstrado, como sendo dominante, em torno de 75% do total estudado detalhadamente para a Baixa de Coimbra. A situação pode ser constatada nas imagens apresentadas na Figura 22, onde há destacamento do revestimento e a alvenaria está exposta.

Tal como no caso dos edifícios, também estes valores representam uma ponderação atribuída ao respetivo elemento que avaliam e constituem um passo intermédio na estimativa de dano associado a um nível de ação sísmica definido pela intensidade sísmica I, definida segundo a escala macrossísmica EMS-98 [8]. As formulações detalhadas de cada uma destas metodologias, assim como as suas calibrações e validações, podem ser consultadas em [5] e em [2], respetivamente.

Tabela 4 : Índice de vulnerabilidade das paredes de fachadas, parâmetros que o definem e respetivos pesos associados. Extraída de [2]

Parâmetro	Classe C_{vi}				Peso	Índice de Vulnerabilidade da Parede de Fachada	
	A	B	C	D	p_i		
P1 Geometria da fachada	0	5	20	50	0.50	$I_{vf}^* = \sum_{i=1}^{13} C_{vi} \times p_i$	
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		
P5 Qualidade dos materiais	0	5	20	50	0.75		
P6 Estado de conservação	0	5	20	50	0.75		
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		
P10 Elementos ligados à fachada	0	5	20	50	0.50		
P11 Elementos beneficiadores	0	5	20	50	0.50		Índice Normalizado $0 \leq I_{vf} \leq 100$
P12 Interação entre fachadas adjacentes	0	5	20	50	0.50		
P13 Tipo e massa das estruturas de pavimento	0	5	20	50	0.50		

Finalmente, importa salientar que a aplicação da metodologia utilizada foi integrada numa plataforma de Sistemas de Informação Geográfica QGIS 3.18 – Zürich, o que permitirá o mapeamento e avaliação de elementos dissonantes que descaracterizam os edifícios, bem como atualização e comparação com o trabalho realizado anteriormente por [2].

A base de dados obtida será utilizada para o planeamento da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada dos edifícios, constituindo-se numa ferramenta que servirá de apoio na tomada de decisões técnicas. Com a identificação das áreas onde há maior quantidade de fachadas com índice de vulnerabilidade sísmica elevada, será possível indicar as regiões mais degradadas e priorizar adoção de estratégias de diferentes níveis de intervenção de reforço sísmico, seja no ponto de vista da segurança dos habitantes ou económico, face a eventos sísmicos futuros.

4 Análise e comparação dos resultados

Por tratar-se de um centro histórico, com muitos edifícios degradados e outros tantos devolutos, os levantamentos foram adequados ao perímetro determinado (ver Figura 2), e o método foi simplificado e expedito, ainda assim capaz de fornecer resultados e indicadores úteis.

4.1 Estado de conservação e caracterização da Baixa de Coimbra

O processo de degradação dos edifícios é natural e inevitável. No entanto, o meio técnico pode e deve interferir com ações para aumentar sua vida útil, prolongar, diminuir e/ou retardar sua degradação.

Há inúmeros fatores que aceleram o processo de degradação dos edifícios, em especial a falta de manutenção e adequação necessária improvisada. Na tentativa de adequar edifícios antigos às exigências de tempos atuais, opta-se pela instalação de equipamentos de ar condicionado, telecomunicações, sinais luminosos e reclamos, cuja mão de obra desqualificada acaba por comprometer o todo, originando processos desagregação dos revestimentos, infiltração nas paredes das fachadas por excessos de furos e falta de cuidados de impermeabilização local. Este imprevisto, além dos problemas mencionados, originam ainda uma enorme poluição visual, com impacto profundo na paisagem urbana (ver Figura 24).

A importância crescente da reabilitação de edifícios antigos torna-se cada vez mais evidente no setor da construção civil em Portugal. Os maiores valores absolutos de obras de reabilitação licenciadas em 2019, a nível regional, regista-se nas regiões Centro e Norte, 1464 e 2084 edifícios, respetivamente, de um total de 23.608 edifícios licenciados em Portugal [9].

Com base no presente estudo, é possível definir prioridades num plano de ações de reabilitação urbana. O processo de regeneração com incentivo de instrumentos financeiros existentes deve incentivar primeiramente a reabilitação estrutural, através de reforço e em etapa posterior os aspetos estéticos. Numa zona sujeita a sismos, a prioridade na reabilitação deve ser de assegurar o reforço estrutural dos edifícios e das fachadas, para que estes resistam melhor aos abalos sísmicos. No entanto, é por vezes evidente uma prevalência da maior preocupação estética sobre a segurança, passando por ações de pintura das fachadas, mas negligenciando problemas estruturais graves, denunciado pela configuração da fissuração, tal como no caso do edifício apresentado na Figura 25.

**Estudo Comparativo do Estado de Conservação,
Processos de Descaracterização e Análise Simples de
Vulnerabilidade Sísmica da Baixa de Coimbra**



Figura 24: Estado de conservação, poluição visual das fachadas da Baixa de Coimbra



Figura 25: O cunhal do edifício não é travado, Edifício recém “reabilitado”, RMO06

Como o caso de estudo trata de fachadas dos edifícios antigos, há necessidade de conhecimento acerca das particularidades estruturais e construtivas destes elementos. A inspeção é feita de forma visual e direta, sem nenhuma intervenção invasiva. Com base numa observação preliminar, foi possível constatar que, na constituição do suporte das paredes resistentes de fachada, são comuns alvenarias de pedra fragmentada irregular, argamassada (cal + areia), assentamento irregular, com grande espessura, na ordem de 61 cm, constituída predominantemente por pedra calcária da região de Coimbra, com tom amarelado, designada por Dolomia [2].

A heterogeneidade das alvenarias é claramente observada na imagem apresentada na Figura 26, onde é visível a variedade de pedras e não raro tijolos maciços entram na constituição para preencher os vazios e promover o alinhamento das pedras de maior dimensão.



Figura 26: Materiais e assentamento irregular das paredes de alvenaria da Baixa de Coimbra

Por tratar-se de uma região que passou por vários ciclos de inundações pela proximidade do Rio Mondego, a humidade ascensional e a desagregação dos revestimentos e das alvenarias são anomalias recorrentemente observadas. As presenças de minerais argilosos nas pedras calcárias tornam as mesmas muito sensíveis à presença da água, originando problemas de degradação diferencial, erosão diferencial e perda de coesão das próprias alvenarias, tornando-as muito vulneráveis do ponto de vista estrutural [5].

A caracterização tipológica do edificado da Baixa de Coimbra já foi exaustivamente estudada em trabalhos anteriores e muito bem demonstrada pelas características medievais dos edifícios, com tipologia de frente estreita, em banda, dois ou três alinhamentos verticais de vãos e um fogo por piso. Com uma relação entre altura (H) e medida frontal da fachada (B) muito elevada, o valor H/B para o presente estudo gira em torno de 87% do total levantado, para a Classe D. Por tudo o que se sabe da tipologia estreita e alta, para além dos aspetos de economia, era prática comum, aproveitar as paredes resistentes, existentes de edifícios contíguos para o apoio de pavimentos e coberturas de edifícios vizinhos construídos posteriormente (paredes meeiras). Para um edifício, cuja espessura média das paredes é 60 cm, em uma tipologia de duas ou três paredes representa um ganho significativo de área interna. Entretanto sob o ponto de vista da segurança, essas más ligações apresentam fraquezas às ações dinâmicas de um sismo. As paredes resistentes foram construídas com grande espessura porque as principais preocupações eram em relação a compressão para receberem esforços no seu plano, ficando assim do ponto de vista estrutural superdimensionadas para os esforços solicitantes, entretanto, as regiões mais críticas são os cunhais. Estes devem ter atenção especial, pois ao contrário do que se imagina, os cunhais recebem uma carga vertical de compressão menor pela sua área de influência, entretanto, a preocupação maior é com a ligação entre parede e parede ortogonais (meeiras) que podem se desligar com ações laterais como vento e sismos.

A título ilustrativo, apresentam-se na Figura 27 alguns edifícios representativos desta tipologia, com seus alçados estreitos e alturas variadas.



Figura 27: Caracterização tipológica do edificado da Baixa de Coimbra – imagens aéreas de 03/01/2021

A grande maioria das fachadas apresentam alinhamento de vãos por uma questão lógica empírica construtiva, de executar paredes sobre paredes e vãos sobre vãos. Para atender às exigências atuais do mercado, cresceu a demanda por salas comerciais no rés-do-chão, o que levou a uma alteração da tipologia original, tornando-se prática comum na Baixa de Coimbra a abertura de grandes vãos para melhorar a exposição das montras e dos produtos ali comercializados, ver Figura 32. Edifícios nas Ruas da Moeda, da Louça, Rua Eduardo Coelho e das Padeiras, foram as que mais sofreram alterações nas características das suas fachadas. Os elementos estruturais, conhecidos por vigas de transição foram o recurso estrutural que possibilitou a abertura desses grandes vãos, uma vez que as paredes de alvenaria possuem pouca resistência a esforços de flexão e corte. O que parecia ser uma solução ideal do ponto de vista

comercial, torna-se um risco no âmbito estrutural. A transferência dos esforços para as divisas, paredes meias, constitui-se em maior fragilização com esse acréscimo de carga não previsto.

4.2 Apresentação e análise de resultados

4.2.1 Índice de vulnerabilidade da fachada

No presente trabalho foram levantados dados sobre a vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de parte dos edifícios que compõem o centro histórico de Coimbra, num universo de 284 edifícios. Tal como anteriormente referido, o perímetro do projeto expandido, com uma área final de 42.054 m² e o perímetro final de 849 m. Os limites finais compreendem 1 praça, 14 ruas, 1 travessa, 1 beco, 4 largos e 1 terreiro.

O processo da Baixa de Coimbra resultou na inspeção de 284 edifícios, 342 fachadas, 7023 registos fotográficos e 1660 Fichas de Registro, durante um período de aproximadamente um ano de trabalho, cuja documentação está disponibilizada online em <https://doi.org/10.5281/zenodo.5600499>.

Conforme já exposto anteriormente na Secção 3.3, o índice de vulnerabilidade da fachada é calculado através da média ponderada dos 13 parâmetros listados na Tabela 4. Em um mesmo edifício, com duas ou mais fachadas, observam-se diferentes índices de vulnerabilidades para cada fachada. O presente estudo inspecionou todas as fachadas de um mesmo edifício, totalizando 342 fachadas para 284 edifícios. O índice de vulnerabilidade médio para esse primeiro grupo resultou em 40.82. Para efeito de comparação com os resultados obtidos por Ferreira [2] em 2009, foram descartados os índices de 58 fachadas mais favoráveis (para os edifícios com mais de uma fachada), 3 em betão armado, 3 em obra de reabilitação (inacessíveis) e 24 em processo de ruína e demolição. Para esse segundo grupo, totalizando 254 fachadas (ver Planilha_Resultados_Baixa_de_Coimbra_com_IVf_MAIS_DESFAVORÁVEIS_RESULTADOS), o valor médio dos índices de vulnerabilidade calculados foi de 41.25 (acréscimo de 1,1%).

Nos parágrafos seguintes, os resultados obtidos neste trabalho serão interpretados estatisticamente sendo que, para efeito de comparação, apenas os resultados obtidos para o segundo grupo, i.e., considerando apenas as fachadas mais vulneráveis, serão considerados.

A Figura 28 apresenta o histograma de distribuição dos valores obtidos para as 342 fachadas avaliadas.

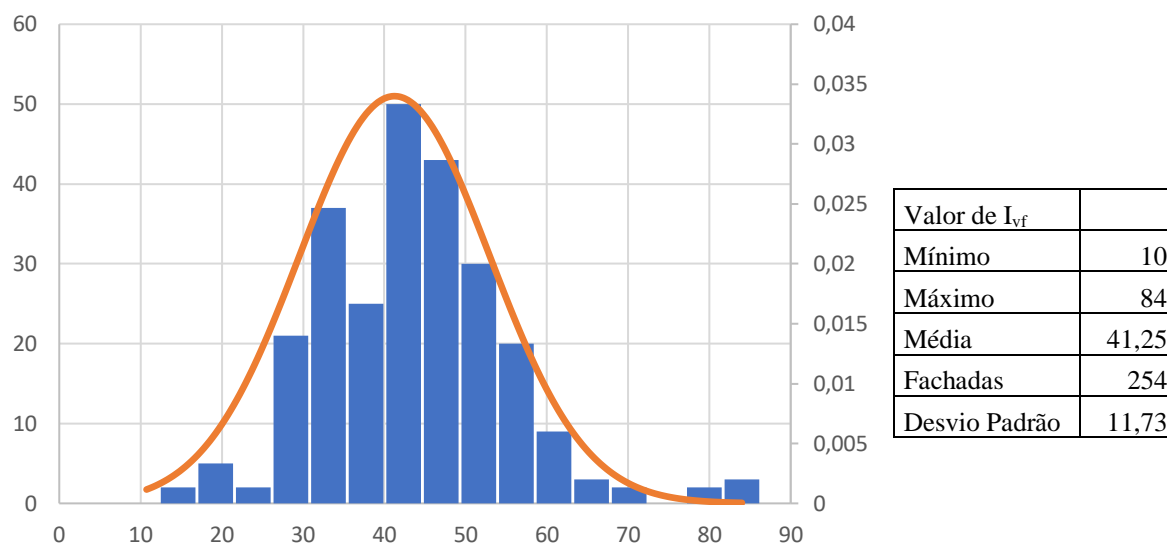


Figura 28: Histograma e curva de Gauss com a distribuição do índice de vulnerabilidade da fachada I_{vf}

A observação dos quatro parâmetros de natureza geométrica e aberturas, referentes à distribuição das classes de vulnerabilidade P1, P2, P3 e P4, fornece uma ideia clara das características geométricas da fachada, esbelteza máxima, área e desalinhamento de aberturas dos edifícios da Baixa de Coimbra. Os edifícios, na sua maioria, possuem fachadas com grande desenvolvimento em altura, apresentando uma relação altura (H) / dimensão frontal (B) muito alta (ver Figura 29). Este fato é consequência da formação do tecido urbano medieval, constituído por lotes estreitos, agravando-se nos tempos atuais com grande incidência de acréscimo de áreas no sentido vertical. Para além disso, importa notar que a distribuição do edificado é predominantemente em banda.

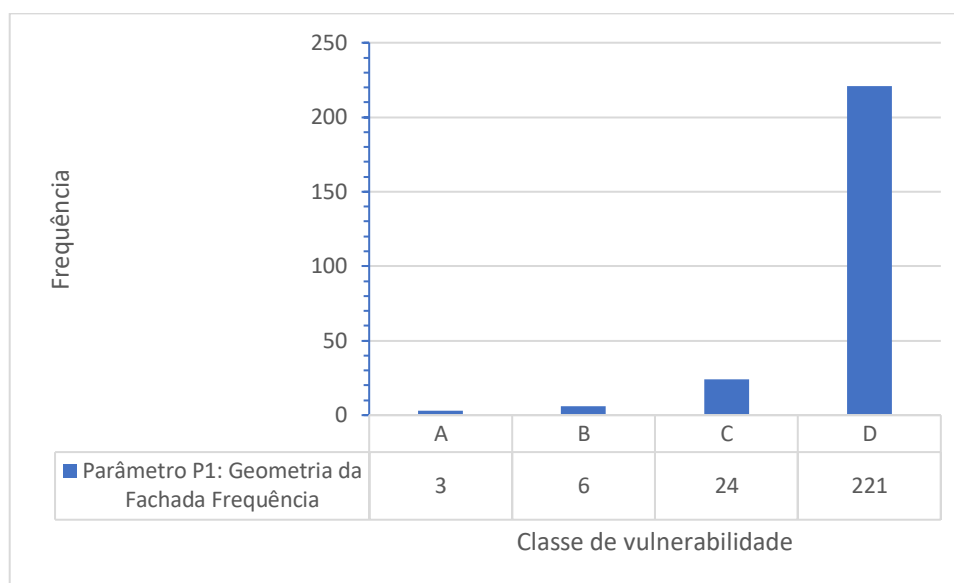


Figura 29: Distribuição das classes do Parâmetro P1 usado no cálculo do I_{vf}

A Tabela 5 a seguir apresenta os valores médios de H e de B para o conjunto das fachadas estudadas, bem como a sua relação média e a denominada “Relação ideal”, ou seja, a relação que conduziria a Classe A na avaliação do Parâmetro P1.

Tabela 5 : Valores médios da altura e largura das fachadas e da relação H/B

H (Altura média)	B (Largura média)	Relação H/B média	Relação H/B ideal
11.3	5.9	1.9	< 0.4

O Parâmetro P2 avalia a esbelteza máxima para as paredes. São as paredes mais esbeltas que apresentam maior risco, ou seja, quanto maior for o resultado da relação altura da parede (h) pela sua espessura (s), maior será o risco. Recorde-se que a “Relação ideal” entre h e s conduz a Classe A para a avaliação do I_{vf} ($h/s \leq 9$). A análise do Parâmetro P2, apresentada na Tabela 6, permite constatar que uma parte importante dos edifícios da Baixa de Coimbra apresentam paredes de fachada com espessura de aproximadamente 0.6 m.

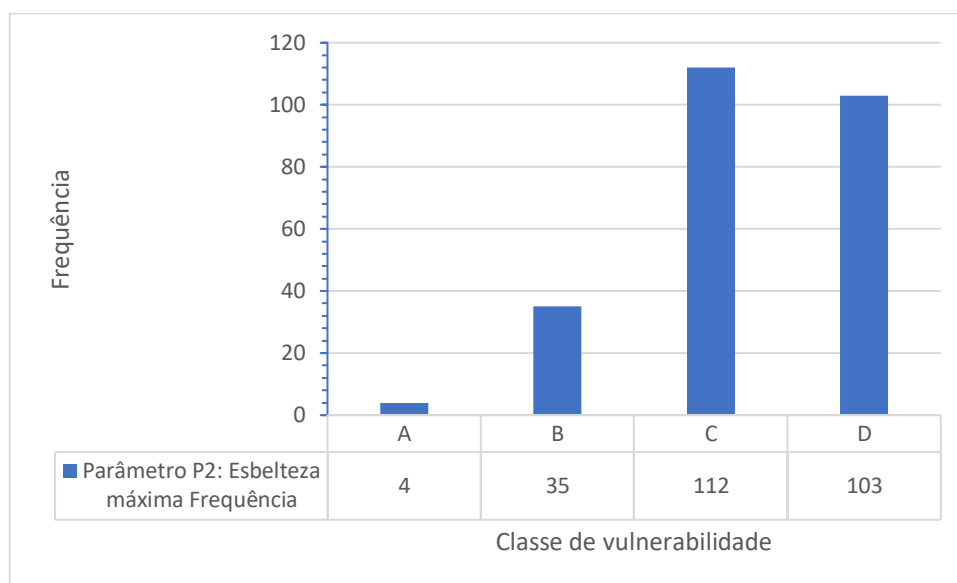


Figura 30: Distribuição das classes do Parâmetro P2 usado no cálculo do I_{vf}

O valor da relação h/s para a média dos edifícios analisados também é desfavorável. A Tabela 6 apresenta os valores médios de espessura e relação h/s medida pelo Parâmetro P2, que é de aproximadamente 18.8.

Tabela 6 : Valores médios de espessura e relação h/s medida pelo Parâmetro P2

h (Altura média)	s (Espessura média)	Relação h/s média	Relação H/B ideal
11.3	0.6	18.8	≤ 9

Os Parâmetros P3 e P4 tratam das áreas e desalinhamento de aberturas, respetivamente, duas características que influenciam diretamente a capacidade resistente das paredes das fachadas. Com efeito, a resposta de uma parede tradicional de alvenaria de pedra a um esforço horizontal está diretamente relacionada com a dimensão e alinhamentos das suas aberturas. Essa configuração é responsável pela distribuição dos esforços na secção da parede, controlando, definindo, e condicionando os seus padrões e mecanismos de dano. Caso os elementos horizontais e verticais sejam irregulares, a definição do caminho das cargas através do “pórtico” é muito mais complexa. O desalinhamento e as grandes áreas das aberturas têm um efeito negativo no comportamento do “pórtico” no caso de uma solicitação sísmica, principalmente para as componentes verticais.

A situação mais favorável é quando a área de abertura é inferior a cerca de 20% da área total da parede, e que as aberturas possuam dimensão regular e alinhadas.

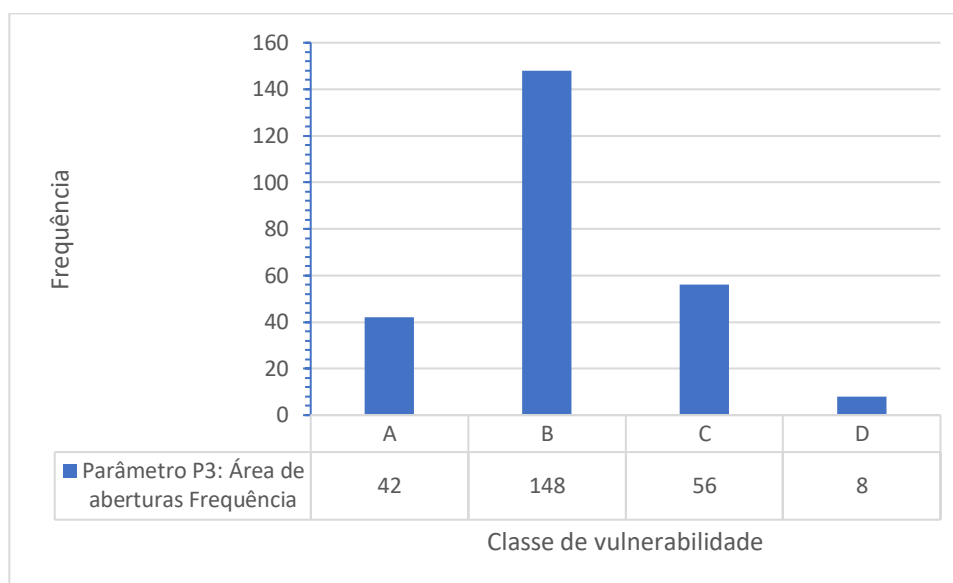


Figura 31: Distribuição das classes do Parâmetro P3 usado no cálculo do I_{vf}

Destaca-se que 57% das fachadas apresentam aberturas de dimensão regular e alinhadas em altura (Classe A). Entretanto, para atender às exigências atuais, tornou-se prática comum na Baixa de Coimbra a abertura de grandes vãos no rés-do-chão, havendo alterações da tipologia original em 69 edifícios, o que representa 24% de um total de 284 no estudo realizado. Notadamente as Ruas da Moeda, da Louça, Eduardo Coelho e das Padeiras, foram as que mais sofreram alterações nas características das suas fachadas, agravando a Classe D para cima, aumentando a vulnerabilidade para o cálculo do Parâmetro P4, agravando ainda mais a vulnerabilidade no caso de um evento sísmico.

Outro aspeto que foi registado ao longo dos levantamentos e observados com especial relevância, através das imagens aéreas foi o significativo número de edifícios com acréscimo de área coberta a partir da cobertura.

Do total de 284 edifícios avaliados, 92 tiveram acréscimo de área, representando 32% do total.

Na planilha de resultados foi dedicada uma coluna com indicação desses edifícios, que através dos seus códigos poderão facilmente serem identificados e localizados.

Grande parte do edificado da Baixa de Coimbra, tendo em vista os padrões de pré-dimensionamento da época, baseados em conceitos teóricos e empíricos, permitiu um acréscimo de área, geralmente a partir do último pavimento de cobertura. Portanto, por todas essas razões, e por todo o exposto, são estruturas muito vulneráveis e certamente necessitam de avaliação estrutural e consequente reforços. Pelas características medievais, com ruas muito

estreitas, e a preservação do beiral original dos edifícios da Baixa de Coimbra, do ponto de vista da rua é praticamente impossível visualizar o pavimento adicional na cobertura.



Figura 32: Alteração da tipologia original com grandes vãos no rés-do-chão

Com o acréscimo de área a partir da cobertura, as alturas dos edifícios também aumentaram, afetando diretamente os Parâmetros P1 e P2, que estão diretamente relacionados com a altura do edifício, dessa forma aumentando o índice de vulnerabilidade das fachadas.

A	$\frac{H}{B} < 0.40$		A	$\frac{h}{s} \leq 9$	
B	$0.40 \leq \frac{H}{B} < 0.60$		B	$9 < \frac{h}{s} \leq 15$	
C	$0.60 \leq \frac{H}{B} < 1.00$		C	$15 < \frac{h}{s} \leq 20$	
D	$\frac{H}{B} \geq 1.00$		D	$\frac{h}{s} > 20$	

Figura 33: Definição das classes de vulnerabilidade para parâmetros P1 e P2 [2]

O Parâmetro P1 avalia a geometria da fachada uma vez que é uma medida indireta do seu peso e altura. O Parâmetro P2 avalia a esbelteza máxima das paredes, são as paredes mais esbeltas que apresentam maior risco de colapso. [2]



Figura 34: Acréscimo de áreas dos edifícios da Baixa de Coimbra.

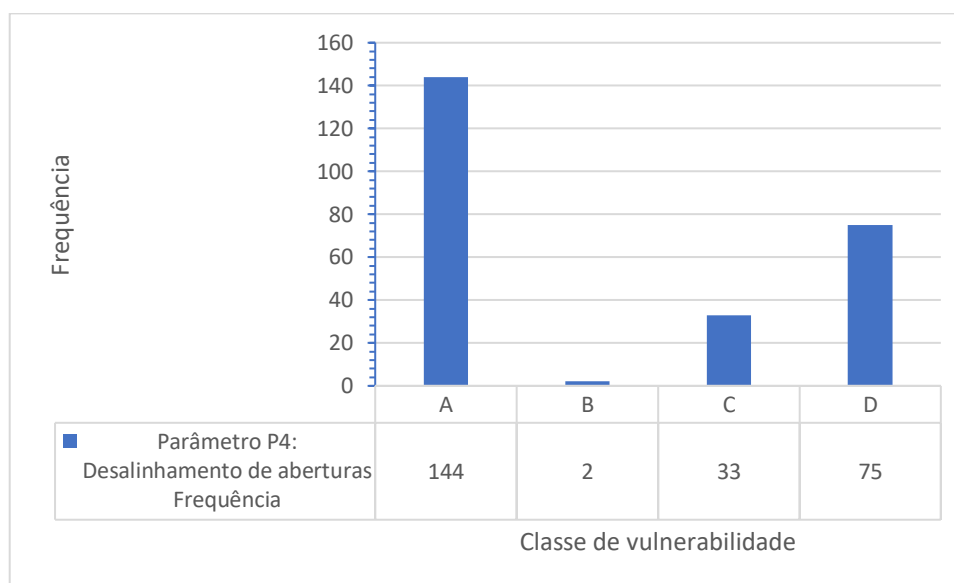


Figura 35: Distribuição das classes do Parâmetro P4 usado no cálculo do I_{vf}

As Figuras 36 e 37 abaixo apresentam os resultados referentes aos parâmetros P5 e P6 que tratam da qualidade dos materiais e estado de conservação, respetivamente. Tal como se observa na Figura 26, as alvenarias constituintes nas fachadas enquadram-se na grande maioria na Classe C, de qualidade média a baixa, apresentando irregularidades de dimensão e assentamento, representando cerca de 75% do total. As restantes estão integradas na Classe B.

Ao longo deste texto, por inúmeras vezes, indicou-se a falta de manutenção por períodos prolongados como sendo a principal causa da degradação do edificado do Centro Histórico da Baixa de Coimbra. Destaca-se que o Parâmetro P6, cuja referência é a avaliação do estado de conservação, trata especificamente das configurações, localização, abertura e origem das fissurações das paredes das fachadas. De maneira geral, os edifícios centenários foram construídos com boas práticas antigas e, nesses termos, apresentam-se em melhores condições do que boa parte dos edifícios mais recentes.

No que respeita à sua distribuição, tal como se apresenta na Figura 37, o Parâmetro P6 apresenta-se relativamente uniforme entre as três primeiras classes: 30% das fachadas apresentam um estado de conservação correspondente à Classe A; 24% à Classe B; 31% à Classe C; e 15% à Classe D.

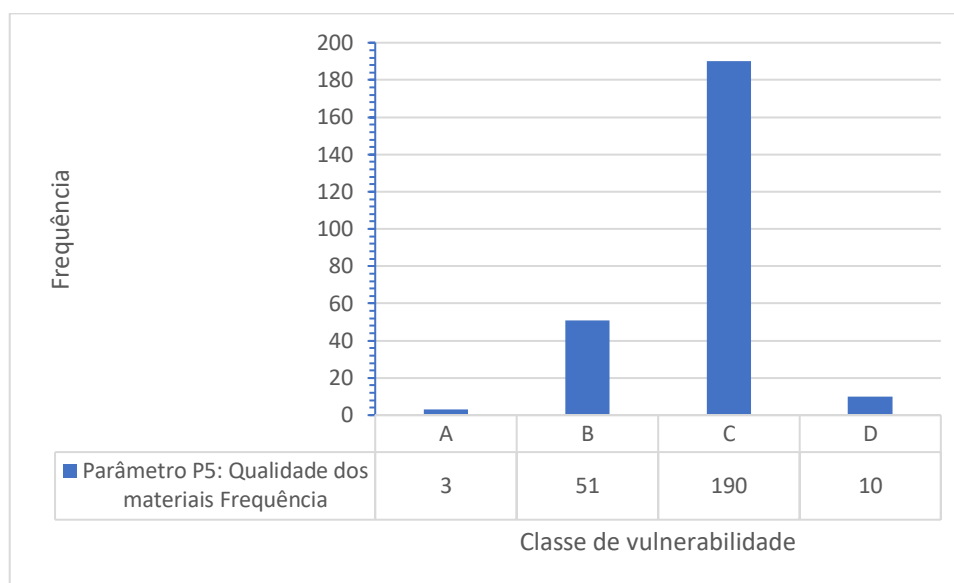


Figura 36 : Distribuição das classes do Parâmetro P5 usado no cálculo do I_{vf}

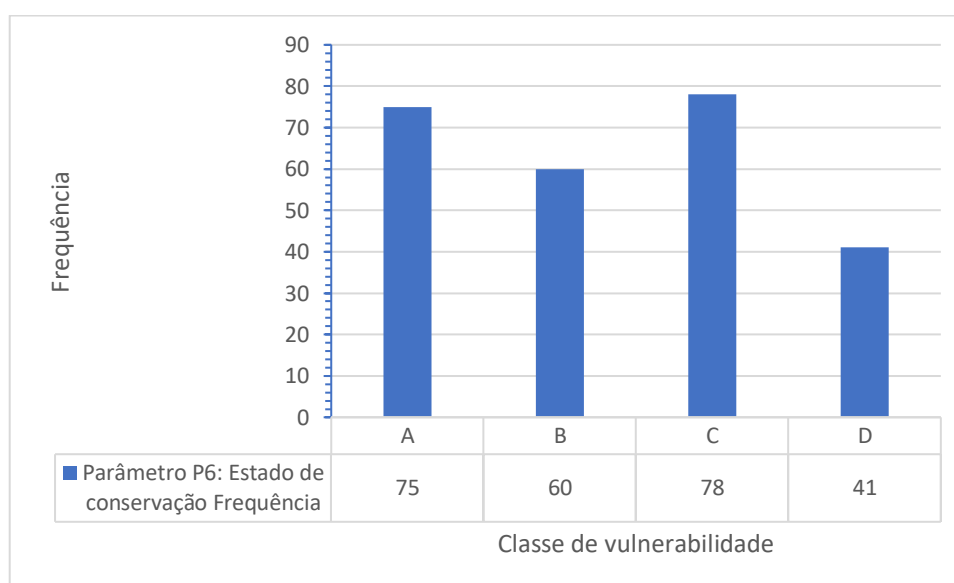


Figura 37: Distribuição das classes do Parâmetro P6 usado no cálculo do I_{vf}

Os parâmetros P7 e P8, apresentados nas Figuras 38 e 39, avaliam as características de ligação entre as paredes de fachada e as paredes ortogonais e as ligações aos diafragmas horizontais e a cobertura, respetivamente. Para o Parâmetro P7, os resultados encontram-se maioritariamente concentrados entre as Classes B e C, sendo que a Classe B concentra 39% dos casos e a Classe C, 42%. Somente 10% do total das fachadas avaliadas apresentaram uma ligação correta e efetiva. A distribuição dos resultados para o Parâmetro P8 é semelhante à do Parâmetro P7,

também concentrados entre as Classes B e C: 35% associados à Classe B; e 46% à Classe C. Apenas 5% das fachadas analisadas foram avaliadas com Classe A e 14% com Classe D.

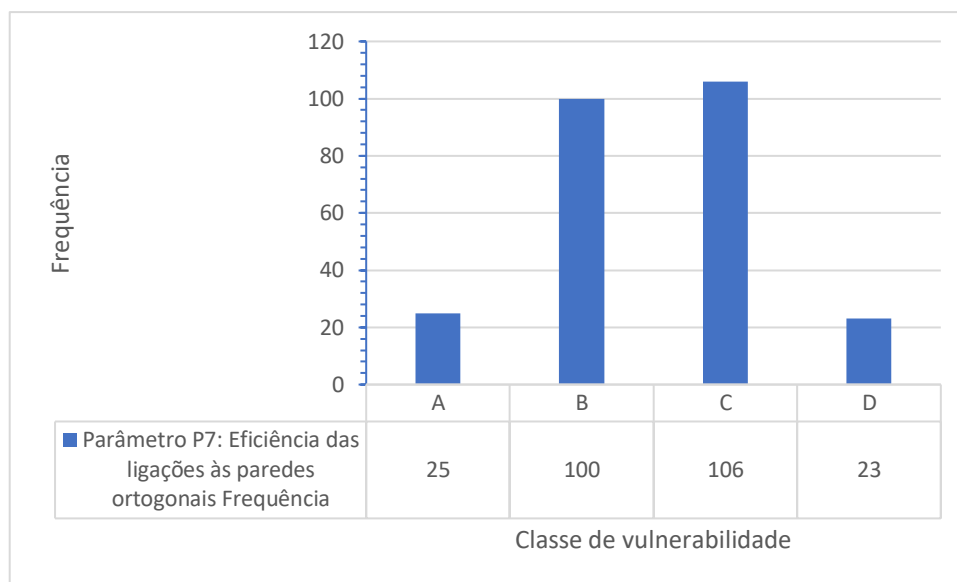


Figura 38: Distribuição das classes do Parâmetro P7 usado no cálculo do I_{vf}

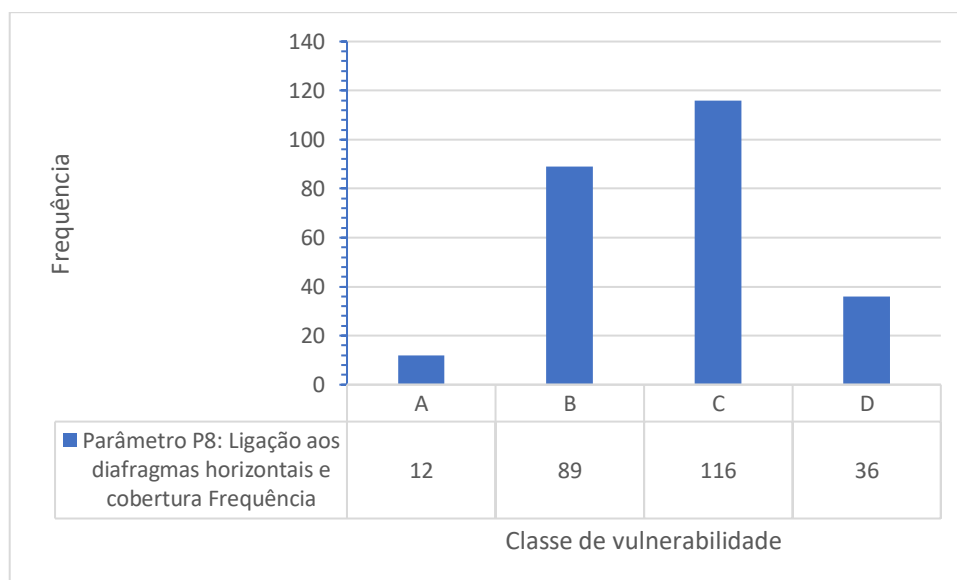


Figura 39: Distribuição das classes do Parâmetro P8 usado no cálculo do I_{vf}

A Figura 40, a seguir, apresenta os resultados da análise efetuada sobre os impulsos da cobertura sobre as paredes das fachadas. Em muitos casos, o estado de conservação das coberturas agrava a classificação atribuída a este parâmetro P9, onde a maioria da amostra se concentra em torno

da classe de vulnerabilidade mais baixa, Classe A, com 39%. Fato constatado através das imagens aéreas atualizadas, onde foi possível perceber que as boas práticas construtivas estão presentes nas coberturas do centro histórico. De maneira geral, as coberturas visualizadas externamente estão em boas condições de conservação. Felizmente, esta consciência positiva em relação a cobertura atua como fator preventivo para a boa saúde e longevidade do edificado, pois é através da cobertura que surgem muitas anomalias associadas. Tal como se observa ainda na Figura 40, cerca de 26% das coberturas foram avaliadas com Classe B, 29% com Classe C e 6% com Classe D, correspondendo a situações de fachadas apresentam claros sinais de impulsos da cobertura.

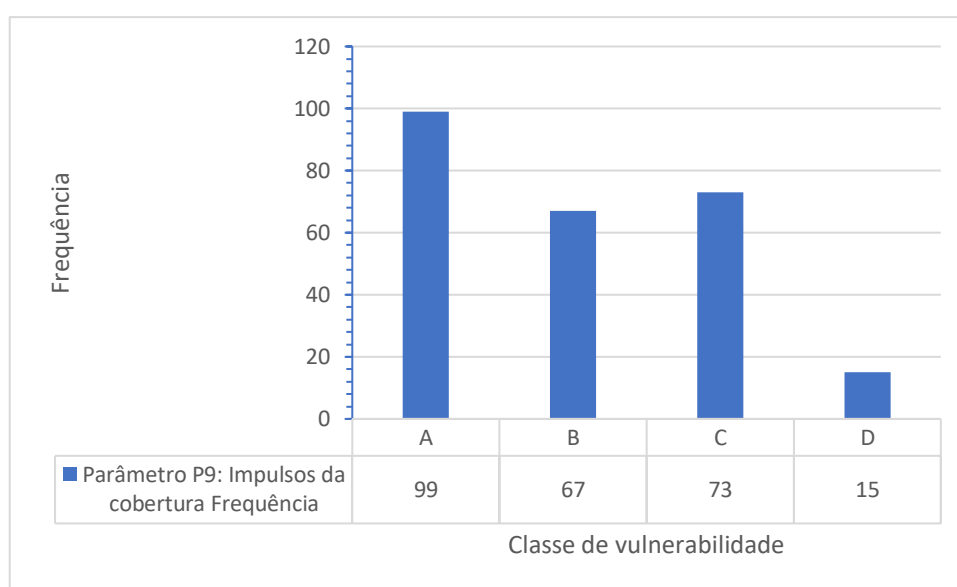


Figura 40: Distribuição das classes do Parâmetro P9 usado no cálculo do I_{vf}

A distribuição do Parâmetro P10 avalia a ligação de elementos conectados e/ou apoiados na parede da fachada, constituindo um risco de queda e um fator de agravamento dos danos a uma ação sísmica. Este parâmetro é dinâmico com o tempo, além dos fatores arquitetónicos originais, varia com outros fatores relacionados, tais como a época ou a necessidade ou utilização do imóvel, por exemplo, onde o simples fato da fixação de sinais luminosos, toldos, equipamento mecânico de ar condicionado, etc. altera a mudança de classe de vulnerabilidade. Para o presente momento, o Parâmetro P10 apresenta grande concentração na Classe A, considerada favorável, de 37%. A Classe D também reúne um número significativo de entradas (43%). As restantes classes, Classe B e Classe C corresponde respetivamente a 14% e 6% das fachadas avaliadas. A divulgação dessa informação deveria ser amplamente divulgada no meio técnico, conscientizando os responsáveis pelas reabilitações de que as fachadas dos edifícios devem ser “limpas”.

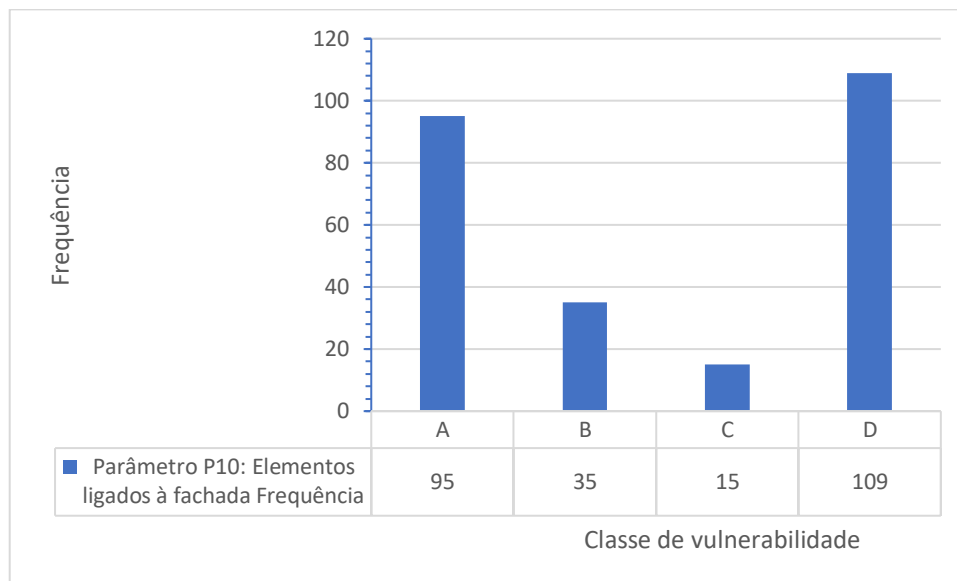


Figura 41: Distribuição das classes do Parâmetro P10 usado no cálculo do I_{vf}

A seguir serão apresentados os parâmetros P11, P12 e P13, que avaliam os elementos beneficiadores do comportamento, o efeito “pounding” e a estrutura do pavimento, que foram incrementados na metodologia posteriormente à aplicada por Ferreira [2], em 2009.

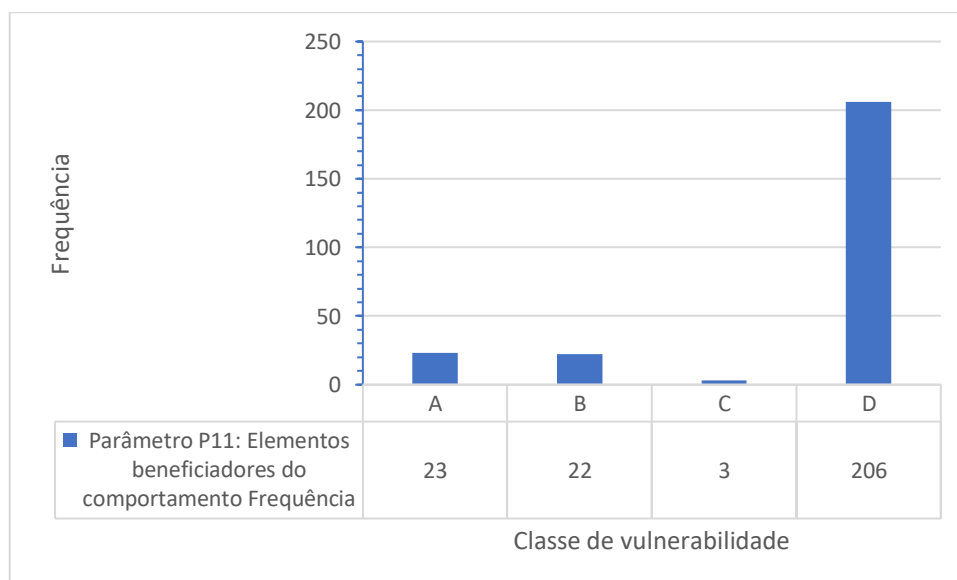


Figura 42: Distribuição das classes do Parâmetro P11 usado no cálculo do I_{vf}

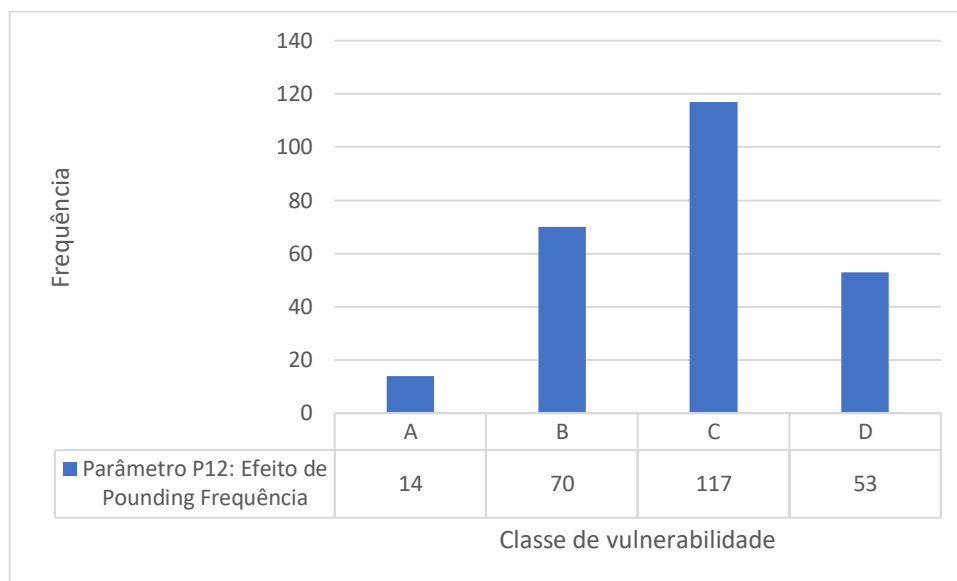


Figura 43: Distribuição das classes do Parâmetro P12 usado no cálculo do I_{vf}

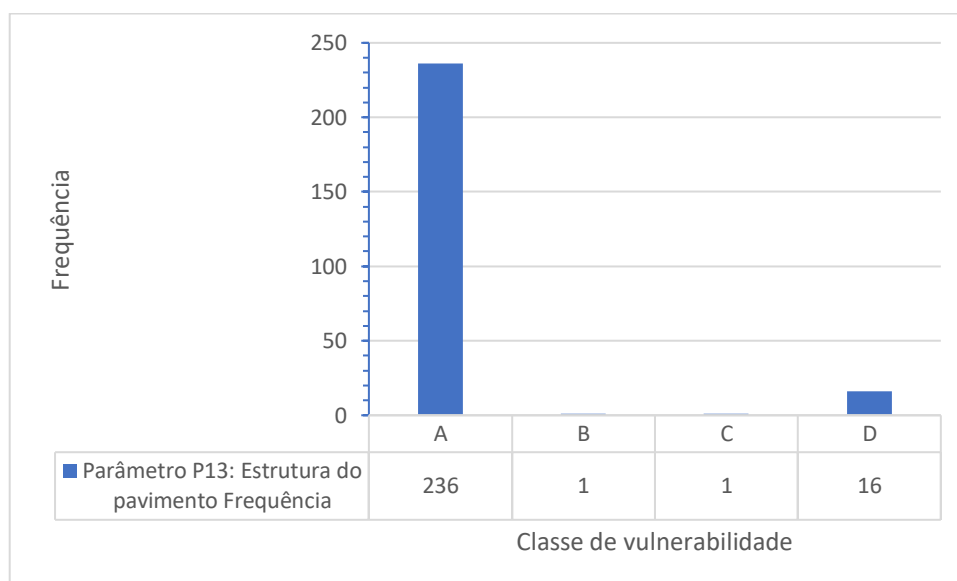


Figura 44: Distribuição das classes do Parâmetro P13 usado no cálculo do I_{vf}

Pela Figura 45 é possível comparar a influência de cada um dos parâmetros no índice de vulnerabilidade da fachada. Através deste output é possível perceber com exatidão quais os parâmetros que mais influência apresentam no cálculo final do índice de vulnerabilidade da fachada e, dessa forma, identificar fragilidades e definir prioridades e estratégias de intervenção.

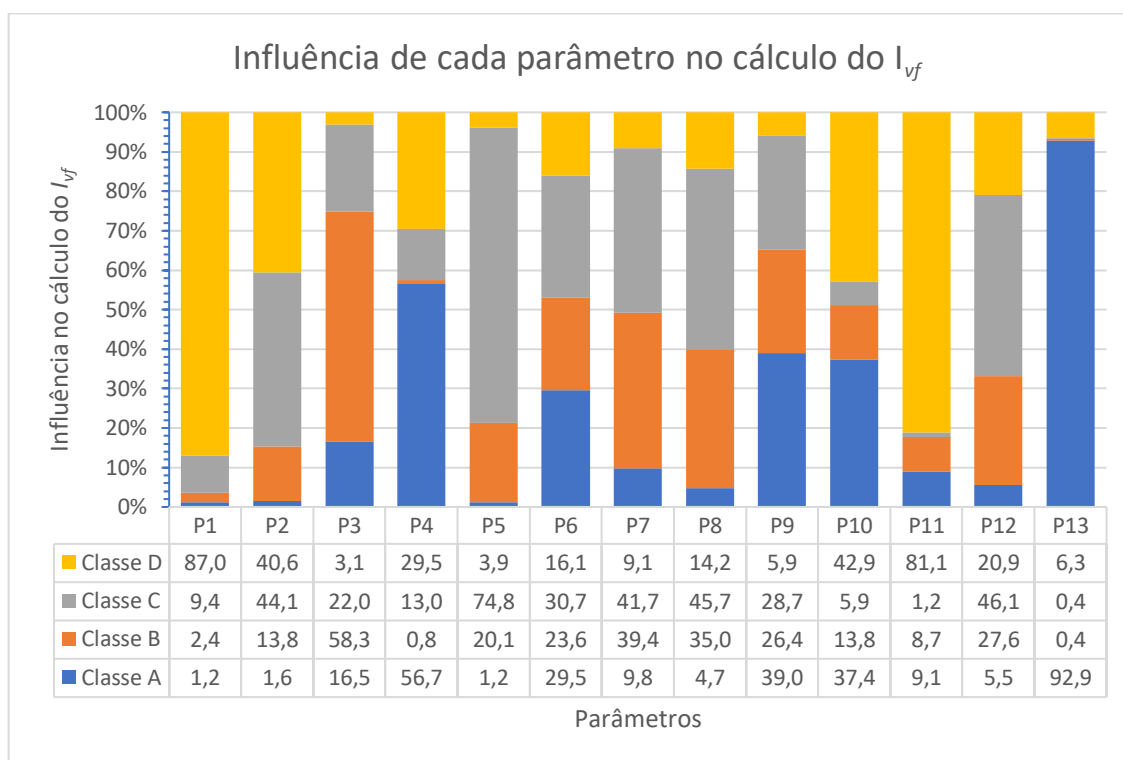


Figura 45: Influência de cada parâmetro no cálculo do índice de vulnerabilidade da fachada

4.2.2 Integração dos resultados num sistema SIG

Para a gestão dos dados e resultados, foi criada uma base de dados a partir das fichas de inspeção com toda a informação registada do edificado, particularmente sobre o estudo de vulnerabilidade sísmica. Esta base de dados, integrada, como referido anteriormente, num Sistema de Informação Geográfica (SIG), fornece uma visão global de todos os resultados do perímetro estudado, como características do edificado, análise espacial da vulnerabilidade sísmica, criação de cenário de dano, e caminho de evacuação em caso de catástrofe. Nos parágrafos seguintes serão apresentados um conjunto de mapas com a distribuição espacial do índice de vulnerabilidade das fachadas, e dos respetivos parâmetros de vulnerabilidade. Posteriormente, na Secção 4.3, será feita a análise e a comparação entre os resultados atuais, obtidos na presente dissertação, e os resultados obtidos em 2009 por [2].

A Figura 46 apresenta a distribuição espacial da vulnerabilidade sísmica de todas as fachadas incluídas na área de estudo. A sua análise permite identificar os edifícios e zonas que apresentam maior vulnerabilidade das suas fachadas. Observa-se claramente na área central divisória norte e sul, zona de cruzamento da Rua Direita com a projeção da Avenida Central, sendo aquela que concentra maior vulnerabilidade, com vários edifícios com índices de

vulnerabilidade sísmica da fachada superiores a 60. Nesta mesma região é ainda possível visualizar 24 edifícios não avaliados, constando na planilha de resultados como edifícios demolidos. Também é possível identificar as fachadas que apresentam valores com I_{vf} igualmente elevados, entre 40 e 60. Embora estes edifícios se encontrem bastante dispersos por toda a área de estudo, é possível identificar algumas ruas onde a sua concentração é mais elevada.



Figura 46: Mapeamento da vulnerabilidade das paredes de fachada

As Figuras 47 a 52 apresentam os mapas resultantes para cada um dos 13 parâmetros analisados com recurso ao sistema SIG. Uma vez que estes resultados já foram comentados anteriormente, abaixo apresentar-se-ão os referidos mapas de distribuição de classes de vulnerabilidade e posteriormente serão comentados somente dos mais relevantes.



Figura 47: Distribuição dos parâmetros P1: Geometria da fachada e P2: Esbelteza máxima



Figura 48: Distribuição parâmetros P3: Área de aberturas e P4: Desalinhamento aberturas

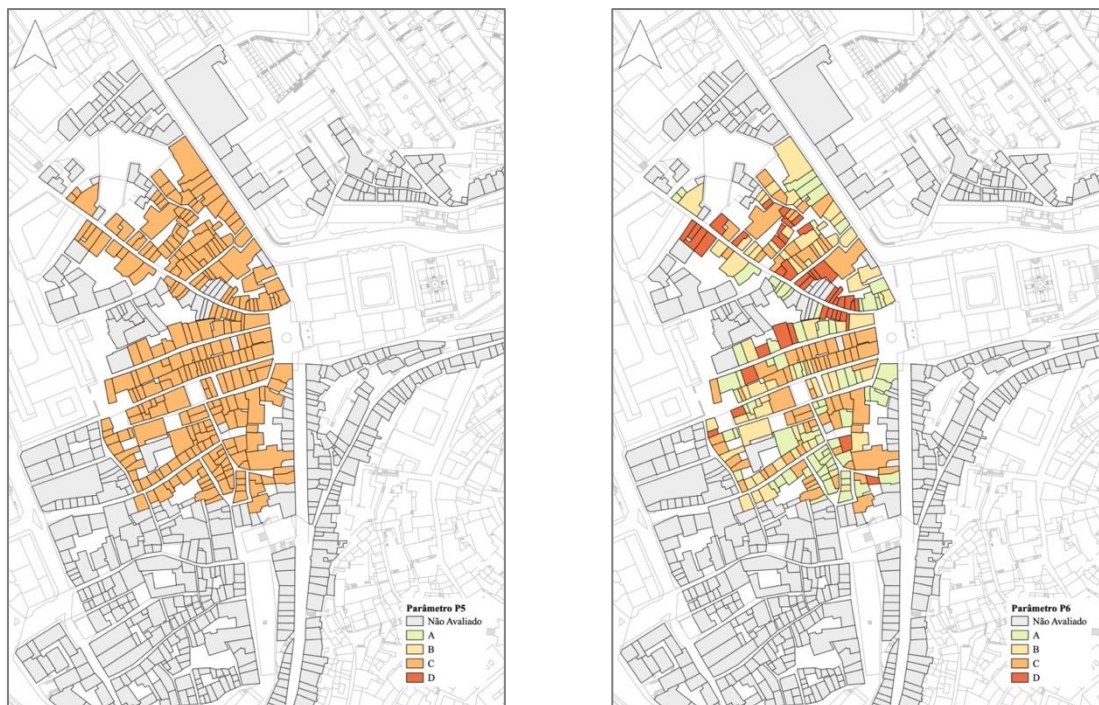


Figura 49: Distribuição dos parâmetros P5: Materiais e P6: Estado de conservação



Figura 50: Distribuição parâmetros P7: Eficiência das ligações às paredes ortogonais e P8: Ligação aos diafragmas horizontais



Figura 51: Distribuição dos parâmetros P9: Impulsos da cobertura e P10: Elementos ligados à fachada



Figura 52: Mapas com a distribuição dos parâmetros P11, P12 e P13: “Elementos beneficiadores do comportamento”, “Efeito de Pounding” e “Tipo de Estrutura do pavimento”

Nos resultados apresentados anteriormente, os parâmetros mais relevantes na avaliação do índice de vulnerabilidade das fachadas são os Parâmetros P1, P2, P5, P6 e o P11, que trata dos elementos mais beneficiadores do comportamento, onde há maior possibilidade de intervenção.

Os primeiros parâmetros que estão relacionados com a geometria das fachadas, conduzem predominantemente para a Classe D, onde a esbelteza, irregularidade em altura e acréscimo de pavimentos a partir da cobertura são características fortes na Baixa de Coimbra. Estas fachadas normalmente não são bem travadas ao longo da altura, potencializando os mecanismos de colapso para fora do seu plano.

A análise dos mapas nas figuras anteriores permite-nos constatar ainda que, em geral, os edifícios apresentam graves sinais de degradação devido à falta de ações de manutenção e reabilitação. Na maioria dos casos, há fissuração nas paredes das fachadas em zonas determinantes para a resistência sísmica do edifício. Tal como se observa na Figura 49, o mau estado de conservação é transversal a toda a área de estudo. Entretanto, é possível distinguir a região mais crítica, onde está previsto o prolongamento da Avenida Central, com necessidade urgente de intervenção.

Quanto à qualidade dos materiais que constituem as paredes resistentes dos edifícios da Baixa de Coimbra, ilustrada na Figura 49, esta é, na grande maioria dos casos, de média a baixa qualidade, com irregularidade de dimensões e assentamento, contribuindo para uma fraca resistência destes elementos estruturais.

Através da distribuição espacial do Parâmetro P9, Figura 51, é possível comprovar as boas condições de conservação e reabilitação das coberturas analisadas.

4.2.3 Estimativa de danos

Após a avaliação do índice de vulnerabilidade para as fachadas da Baixa de Coimbra é ainda possível estimar o grau de dano médio, μ_D , que, em função de uma ação sísmica de intensidade determinada, é expectável que cada fachada venha a sofrer. O valor deste grau de dano médio, μ_D , variável entre 0 e 5, depende do índice de vulnerabilidade definido, V (que pode ser correlacionado diretamente com o I_v) da intensidade sísmica, I (definida de acordo com a Escala Macrossísmica Europeia EMS-98), e ainda do fator de ductilidade (controlado pelo valor de Q), característica de uma dada tipologia construtiva ou grupo de construções e, no caso de construções de alvenaria, toma um valor entre 1.5 e 3.0. Para o presente caso de estudo, o fator de ductilidade utilizado foi de 2.0, de acordo com o recomendado por [2].

À semelhança do que foi feito anteriormente para o índice de vulnerabilidade sísmica, apresentam-se na Figuras 53 e 54 as distribuições espaciais dos valores do grau de dano médio, μ_D , para cada uma das 254 fachadas, admitindo valores de intensidade sísmica compreendidos

entre VI e IX. Importa notar que os limites deste intervalo de intensidades correspondem à máxima intensidade histórica sentida na região de Coimbra.

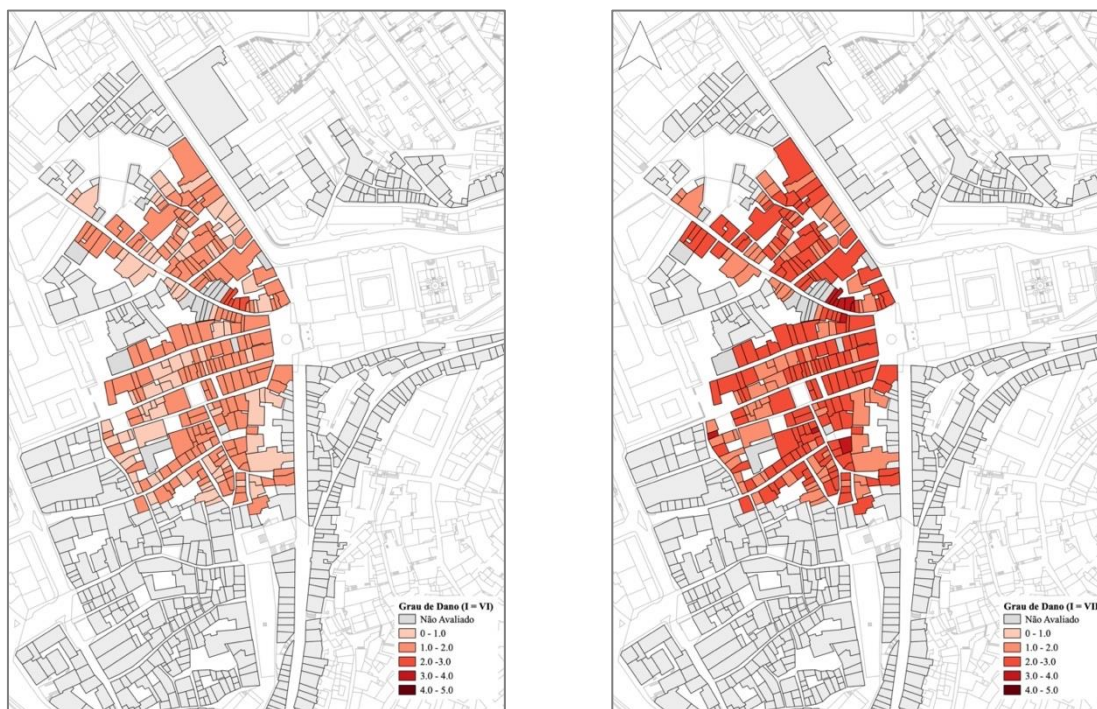


Figura 53: Cenários de dano para I (EMS-98) = VI e para I (EMS-98) = VII

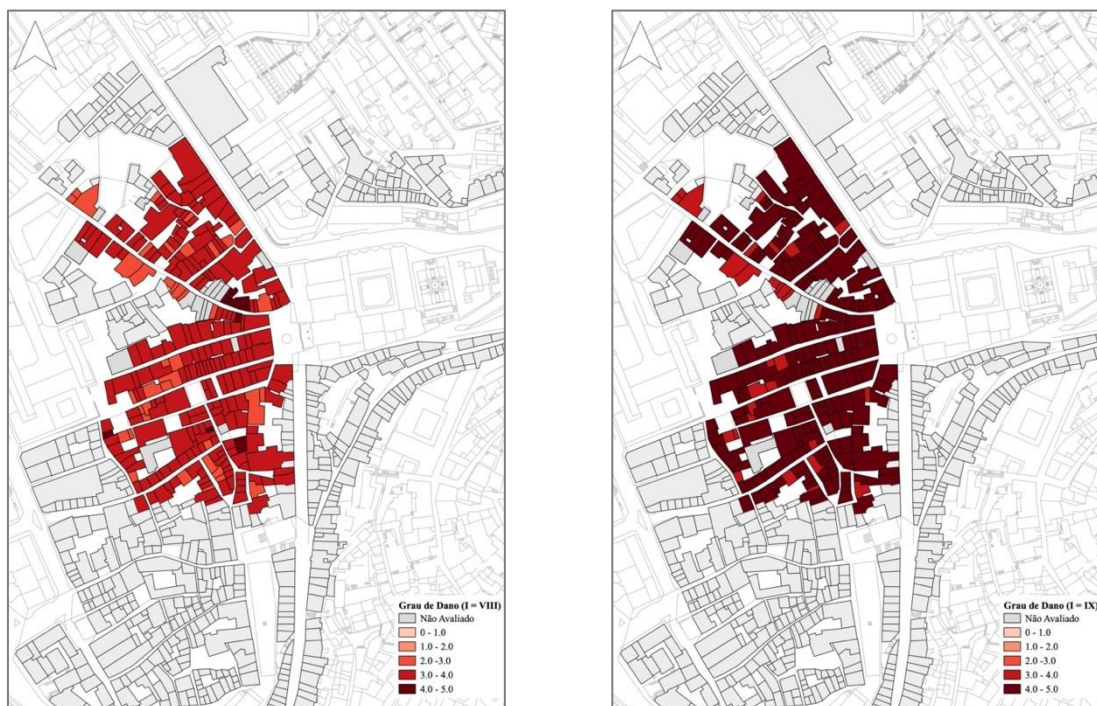


Figura 54: Cenários de dano para I (EMS-98) = VIII e para I (EMS-98) = IX

Apresentam-se ainda na Figura 55 duas distribuições de dano estimadas para as intensidades macrossísmicas I (EMS-98) VIII e IX.

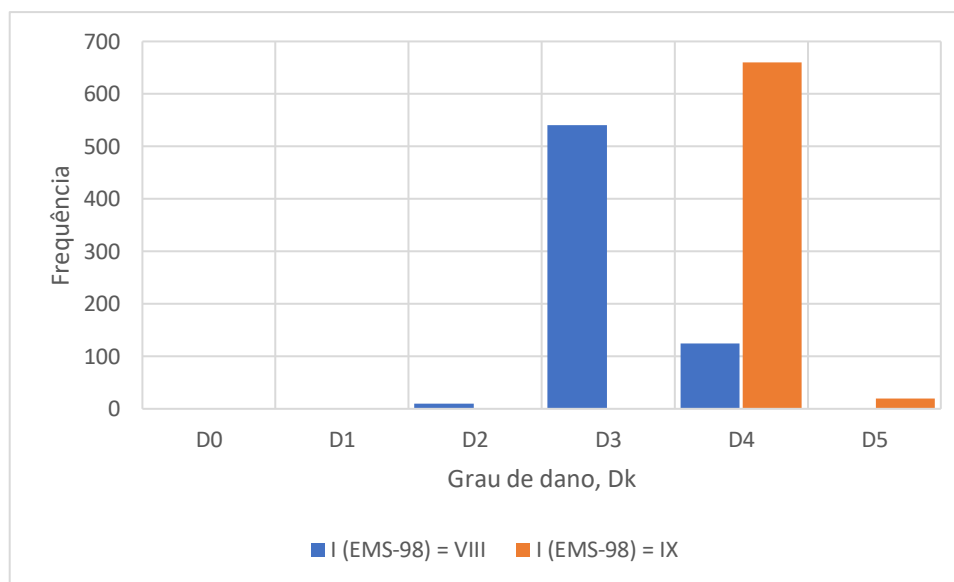


Figura 55: Histograma de distribuição de dano para I (EMS-98) =VIII e IX

Da análise dos resultados apresentados é possível observar que, para um cenário de intensidade sísmica igual ou superior a VIII, 216 (85%) das 254 fachadas avaliadas apresentam um nível de dano $D_k = 4$. No caso de uma intensidade sísmica igual ou superior a IX, o nível de dano para a quase totalidade das fachadas avaliadas (224, o que corresponde a cerca de 90% da amostra), apresenta um nível de dano $D_k = 4$, i.e., danos severos e iminência de colapso.

O mapeamento do grau médio de dano, com recurso ao sistema SIG, permite ainda a identificação e análise espacial de zonas com maior risco de potenciais perdas económicas e humanas. Estes mapas tornam-se instrumentos importantes no apoio às estratégias de mitigação e gestão do risco sísmico, possibilitando-nos propor traçados para caminhos de evacuação para a Baixa de Coimbra.

4.3 Comparações dos resultados obtidos em 2009 com os atuais 2020/21

Independentemente da opinião sobre as decisões e ações a que foram sendo sujeitas abaxiam a estratégia preconizada para a Baixa de Coimbra no que diz respeito às intervenções já realizadas

na Baixa, sobretudo ao nível das demolições do quarteirão do “*bota-abaixo*”, tornam ilógica e insustentável a reversão da situação existente, forçando a necessidade de conclusão da abertura da “Avenida Central” para consolidação e estabilização desta zona da cidade. Neste contexto, torna-se importante estabelecer as diferenças dinâmicas que ocorreram ao longo de doze anos no edificado da Baixa de Coimbra, desde os levantamentos realizados por Vicente, em 2008 [5], e Ferreira, em 2009 [2], analisando o impacto negativo que as várias demolições que foram sendo realizadas ao longo do tempo tiveram na imagem e na dinâmica da Baixa de Coimbra, Figura 56.



Figura 56: Plantas do antes e depois das demolições, e fotografia aérea da situação atual

Observa-se claramente um vazio na área central em estudo, onde foram demolidos e/ou em processo de demolição 24 edifícios, três construídos recentemente em betão armado e outros três em obras de reabilitação, inacessíveis para avaliação. Esse grupo de edifícios aparecem nos mapas em cor cinza e nas legendas como “Não Avaliados”.

Para efeito de comparação, a seguir serão apresentados lado a lado os resultados obtidos em 2009 e os atuais, 2020/2021. De forma a facilitar a visualização e determinar a coerência, os mapas terão a mesma área de abrangência, grandeza (escala) e padronização e layers para apresentação dos índices de vulnerabilidade.



Figura 57: Mapas da vulnerabilidade das paredes de fachada em 2009 (à esquerda) e 2020/2021 (à direita)

Do resultado apresentado na Figura 57 destacam-se as diferenças significativas entre a realidade observada em 2009 e a realidade atual, particularmente na Rua Direita, da Moeda, da Louça e do Corvo. Importa sublinhar que estes resultados vêm corroborar as análises anteriores, onde se constatava o declínio do estado de conservação em muitos destes edifícios. Ressalvem-se algumas exceções positivas, tal como a Rua da Sofia, inscrita na lista de Património da Humanidade da UNESCO, onde as condições registadas em 2009 foram melhoradas ou mantiveram-se inalteradas.

Finalmente, e tal como no caso anterior, apresentam-se nas Figuras 58 a 61 os resultados da distribuição espacial dos valores de grau de dano médio, μ_D , para cada uma das 254 fachadas da Baixa de Coimbra para diferentes cenários de intensidade macrosísmica.

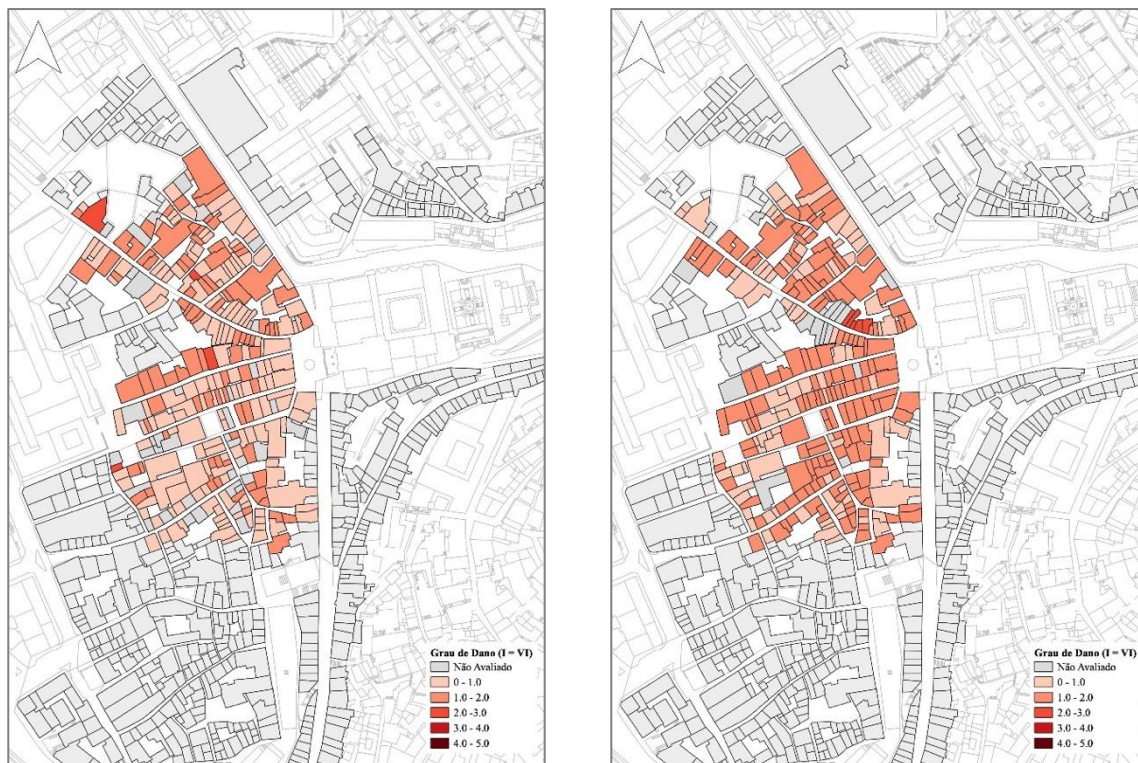


Figura 58: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =VI, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)



Figura 59: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =VII, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)

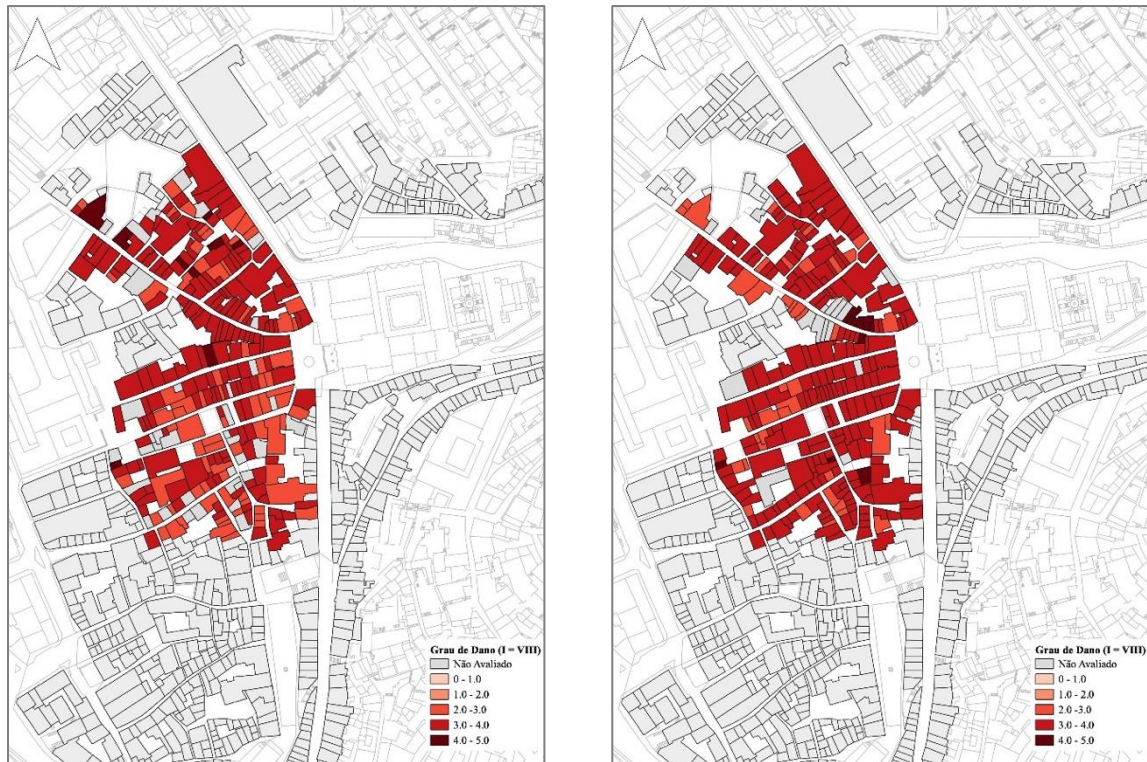


Figura 60: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =VIII, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)



Figura 61: Cenários de grau de dano para intensidades I (EMS-98) =IX, em 2009 (à esquerda) e em 2020/21 (à direita)

A análise dos resultados obtidos através da integração dos resultados de vulnerabilidade sísmica das fachadas no sistema SIG, permite-nos identificar visualmente o acréscimo da tonalidade das cores das legendas dos mapas de 2009 para 2021. De forma simples, é possível identificar o agravamento geral em todos os cenários gerados pela plataforma relativamente aos estudos realizados por Ferreira em 2009 [2]. É ainda possível identificar as áreas onde existe maior concentração de fachadas com índice de vulnerabilidade mais elevado, correlacionando diretamente com as zonas mais degradadas, onde há maior necessidade de conservação. Neste sentido, os resultados aqui apresentados podem constituir-se como ferramentas importantes na tomada de decisões, no apoio do processo de intervenção prioritária, reabilitação estrutural (sísmica) e renovação urbana do centro histórico de Coimbra.

Enquanto não nos é possível prever quando e onde ocorrerão os próximos sismos, precisamos nos preparar para recebê-los.

4.4 O Ponto e contraponto do estado de conservação do edificado

Surpreendentemente a Baixa vista de cima não é a mesma que se vê através das suas estreitas ruas medievais onde o desânimo é denunciado pelas fachadas degradadas e janelas quebradas por onde não é possível avistar nenhuma esperança.

Através das imagens aéreas atualizadas (ver Figura 62), é possível perceber que as boas práticas construtivas continuam presentes nas coberturas do centro histórico, aliadas aos recursos disponíveis no mercado, com novas tecnologias e materiais. De maneira geral, as coberturas visualizadas externamente estão em boas condições de conservação. É fato comprovado, que o telhado atua como fator preventivo para a preservação e longevidade do edificado.

As estruturas da cobertura não se encontram, genericamente, deformadas. As cumeeiras e vigamentos de suporte são bem executadas, bem niveladas e alinhadas, apoiadas sobre elementos de cintagem distribuindo os esforços e diminuindo os impulsos sobre as paredes – promovendo assim uma melhoria no estado geral de conservação da Baixa de Coimbra, fator que influencia positivamente o nível global de vulnerabilidade sísmica da Baixa de Coimbra.

No entanto, o bom aspeto construtivo em que as coberturas se apresentam visualmente não é suficiente por si só, pois são necessários alguns ensaios para comprovar garantir a sua qualidade, como exemplo de boas práticas. Nesse sentido, as imagens apresentadas na Figura

63 pretendem servir de contraponto às imagens da Figura 62, situação em que observa que a boa prática é possível.



Figura 62: Imagens de bons exemplos das coberturas inclinadas da Baixa de Coimbra.

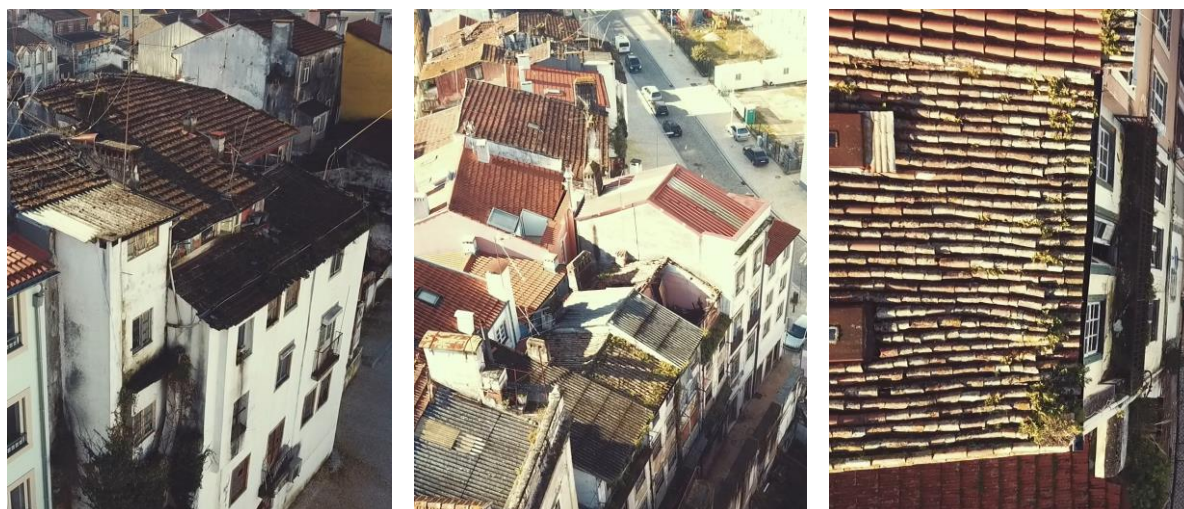


Figura 63: Imagens dos contrapontos das coberturas da Baixa de Coimbra.

A falta de manutenção por períodos prolongados é, aparentemente, a principal causa da degradação dos elementos estruturais de madeira com manifestações patológicas, tais como infiltrações, humidade e ataque biológico; situações que conduzem a deformações progressivas significativas que depois comprometem a estanquidade e conduzem ao apodrecimento dos elementos de madeira da estrutura primária, com perdas e fragilizações das seções. A mitigação dessas anomalias garante a conservação dos apoios da cobertura e dos pavimentos inferiores, salvaguardando a sua função original de diafragma horizontal e garantindo a estabilidade das paredes das fachadas, fatores que contribuem de forma significativa para a segurança sísmica do edifício.

Observa-se que em boa parte das reabilitações preservam-se os beirais originais das fachadas, cuja fixação era feita com argamassa, mantendo assim as características iniciais do edificado antigo e de onde partem as reabilitações das coberturas. Como as vertentes inclinadas dos telhados não são visíveis a partir do nível das ruas, essas intervenções atendem as necessidades atuais, sem contrastar com as características originais das fachadas, ver Figura 64.

Importante observar que em alguns quarteirões, as coberturas de diferentes edifícios no mesmo nível se associam, partilhando dos mesmos apoios (paredes meeiras), tendo uma cumeeira em comum, situação que, frequentemente, ilude a avaliação de um avaliador com visão menos apurada, levando-o a pensar tratar-se de uma única cobertura (ver Figura 65). Já quando há diferença de nível entre as coberturas, em alguns casos, as paredes meeiras são igualmente revestidas com telhas com a finalidade de impermeabilização, formando um tecido único, o que oculta a identificação da origem das anomalias. Por razões económicas e de execução, esta prática tornou-se comum na Baixa de Coimbra. Do ponto de vista estrutural, devido ao efeito de grupo, os riscos também são associados.



Figura 64: Preservação dos beirais originais das coberturas da Baixa de Coimbra.



Figura 65: Coberturas associadas entre diferentes edifícios da Baixa de Coimbra.

5 Conclusões

5.1 Principais conclusões

A metodologia de avaliação da vulnerabilidade dos edifícios proposta por Vicente em 2008 [5], desenvolvida e aplicada ao nível das fachadas por Ferreira em 2009 [2] provou ser de aplicação muito exequível em consequência da acessibilidade a informações decorrentes das visitas e imagens aéreas, imposta pela rotina do preenchimento das fichas de inspeção e análise das características e patologias dos edifícios. Mesmo com a impossibilidade de inspeção detalhada de alguns edifícios, a grande amostragem de informações, garantiu avaliar e apresentar os resultados de um conjunto de 284 edifícios, haja vista a coerência dos resultados apresentados 12 anos após o primeiro estudo realizado na Baixa de Coimbra.

Mesmo numa região de baixa a moderada perigosidade, onde está localizada a Baixa de Coimbra, o nível de dano poderá ser elevado num eventual abalo sísmico. De acordo com a análise aqui realizada, a vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada da Baixa de Coimbra é elevada para um centro histórico com relevante valor patrimonial, inscrito na lista de Património da Humanidade da UNESCO. De facto, com base nos cenários de vulnerabilidade e dano apresentados, foi possível concluir que as fragilidades observadas em 2009 por Ferreira [2] viram-se agravadas ao longo dos últimos 12 anos. Para além disso, os cenários de danos estudados permitem afirmar uma correlação dos resultados com as fragilidades estruturais levantadas, como abertura de grandes vãos nas fachadas, acréscimo de área coberta a partir da cobertura, e o estado de degradação acelerado em muitos casos associado à falta de manutenção e conservação.

Neste contexto, considera-se que, para o futuro, seria importante implementar processos de intervenção e reabilitação mais integrados e mais respeitadores da pré-existência, em linha com os atuais princípios de intervenção no espaço construído, respaldado pelo novo Decreto Lei nº 95/2019.

Apesar da dimensão da amostra do caso de estudo deste trabalho, é possível dar um passo no desenvolvimento de uma curva de tendência com início em 2009, passando por 2021 para prever como evoluirá nos próximos 12 anos. Diante de tais fatos, percebe-se que a reabilitação de alguns edifícios por iniciativa privada não é suficiente para resolver os problemas da Baixa, e é urgente intervir junto dos órgãos de decisão no sentido de se fazer cumprir os regulamentos, promovendo reabilitações responsáveis, com incentivos públicos. Naturalmente que a falta de atratividade da Baixa para o investimento privado na reabilitação é simultaneamente uma causa e uma consequência do atual estado de toda esta zona da cidade. Sem o interesse dos privados,

os esforços de uma reabilitação integrada da Baixa, que privilegie o equilíbrio de funções urbanas (nomeadamente a habitação), serão infrutíferos; e sem a conclusão do processo do Sistema de Mobilidade do Mondego e a respetiva inserção urbana, torna-se impossível orientar o interesse dos privados pelo centro histórico.

Apesar das decisões tomadas, e das consequências de uma estratégia definida, que se considera não acertada e que foi referido em várias passagens ao longo deste trabalho, considera-se que as intervenções já realizadas na Baixa, sobretudo ao nível das demolições do quarteirão do “*bota-abaixo*”, tornam ilógica e insustentável a reversão da situação, forçando a necessidade de conclusão da abertura da “avenida central” para consolidação e estabilização desta zona da cidade.

A esta teia de interdependências na reabilitação da Baixa junta-se a falta de coordenação entre vários intervenientes para a valorização cultural e patrimonial desta zona da cidade. O caso é particularmente grave na Rua da Sofia, cuja inscrição na Lista de Património Mundial da UNESCO pouco efeito teve na transformação deste conjunto urbano e na percepção da sua importância por parte da população e visitantes.

A atual decadência da Baixa acaba por ser o resultado de décadas de indecisões e indefinições estratégicas, num quadro em que nenhuma ação avulsa foi suficiente para inverter a situação. O fato de as únicas ações significativas na Baixa desde meados do século XX terem sido as demolições do “*bota-abaixo*”, criaram na população e nos potenciais investidores uma convicção de perda quase irremediável desta área da cidade. O prolongamento da (in)ação no tempo tem corroído a confiança da comunidade na recuperação da Baixa e contribuiu para a “normalização” do seu estado de abandono.

Finalmente, sugere-se através deste trabalho uma forte campanha de conscientização por parte das instituições competentes, como a Câmara Municipal de Coimbra, para que os utilizadores desses imóveis que são inscritos como património mundial da UNESCO, sejam utilizados de maneira correta para garantir a sua preservação, segurança estrutural e ainda nos processos de planeamento de emergência e socorro. A mitigação do risco sísmico deve ser utilizada em favor do núcleo urbano antigo, permitindo avaliar o cenário de perda humana e econômica nesses cenários.

5.2 Propostas de trabalhos futuros

Os 284 edifícios inspecionados na Baixa de Coimbra resultaram no levantamento de 342 fachadas. Posteriormente, foram caracterizadas através de fichas de inspeção apresentadas na Secção 3.2 e disponibilizadas online em <https://doi.org/10.5281/zenodo.5600499>. Nestas fichas constam informações da identificação do edifício, implantação, utilização, dimensões das fachadas, número de pavimentos, configuração das aberturas, constituição dos materiais, geometria e constituição da cobertura, anomalias estruturais e não estruturais, estado de conservação, entre outras. As informações recolhidas, criando uma base de dados detalhada, permitem desenvolver estatisticamente informações gerais a respeito do centro Histórico de Coimbra, servindo de base para futuros trabalhos.

Na análise de um só edifício, com duas ou mais fachadas, observam-se diferentes índices de vulnerabilidades para cada fachada. O presente estudo inspecionou todas as fachadas de um mesmo edifício, totalizando 342 fachadas para 284 edifícios. Para efeito de comparação com os resultados apresentados por Ferreira [2], foram descartados os índices mais favoráveis, totalizando 58 fachadas. A inventariação dos dados recolhidos permite desenvolver um novo estudo com a totalização das fachadas, permitindo verificar qual o novo valor correspondente à redução do índice global, avaliar cenários de perdas por ruas, e definir orientações para a tomada de decisão a vários níveis, nomeadamente na priorização de processos de reabilitação urbana e na mobilização de recursos públicos.

Tal como detalhado na Secção 3.3, o Parâmetro P10 avalia a influência da presença de elementos conectados e/ou apoiados na parede da fachada, constituindo um risco de queda e um fator de agravamento dos danos a uma ação sísmica. Que impacto produziria sobre a vulnerabilidade sísmica global do Centro Histórico da Baixa de Coimbra, uma campanha com intuito de “limpar” as fachadas dos edifícios? Essa seria uma questão interessante de analisar, constituindo, sem dúvida, matéria para trabalho futuro.

Referências bibliográficas

- [1] Luz (2006). Luz, P.F.C. Regime excepcional de reabilitação urbana e programa REHABILITA; II Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB 2006. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 20-21 de março, Porto.
- [2] Ferreira, T. (2009). Avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de edifícios em alvenaria. Tese de mestrado, Universidade de Aveiro.
- [3] Fernandes, Mário Gonçalves – Espaços e Tempos em Geografia, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2017.
- [4] Rosmaninho, Nuno – Cidade Universitária de Coimbra: Património e Exaltação, Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014.
- [5] Vicente, R. (2008). Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.
- [6] Costa, R. e Providência, P.: Avaliação e reabilitação sísmicas de edifícios de betão armado. Engebook, 2019.
- [7] CAMPOS, Maria Amélia Álvaro de - Santa Justa de Coimbra na Idade Média: o espaço urbano, religioso e socio-económico. Coimbra : [s.n.], 2012. Tese de doutoramento
- [8] Grünthal, G. (1998) – European Macroseismic Scale. Luxembourg, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 15.
- [9] INE: Instituto Nacional de Estatística, Lisboa – Portugal.
- [10] Ferreira, T. (2010). Avaliação da vulnerabilidade sísmica de núcleos urbanos antigos. Tese de Estudos Avançados em Reabilitação de Património Edificado, Universidade do Porto.
- [11] Aulas I, II e III: Caracterização, Diagnóstico e Monitorização e Ações e Estratégias de Reforço. 2019, Romeu da Silva Vicente e Tiago Miguel Ferreira.
- [12] Decreto-Lei n.º 95/2019 – Diário da República, 1.ª série – Promulgado em 11 de julho de 2019 e publicado em 18 de julho de 2019, entrou em vigor dia 15 de novembro de 2019.

- [13] DRE – Diário da República Eletrónico.
- [14] Projeto Reabilitar como Regra – Resolução do Conselho de Ministros nº 170/2017. Seminário sobre o novo regime aplicável à reabilitação de edifícios e frações autónomas (17 de setembro de 2019, UC)
- [15] LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [16] IMPIC: Instituto dos Mercados Públicos do Imobiliário e da Construção
- [17] COIMBRA VIVA, 2019, “*Apresentação de Resultados, 1º Semestre de 2019*”.
- [18] ESPOSITO, Antonio; LEONI, Giovanni, 2005, “Fernando Távora, Opera Completa”, ed. Electra
- [19] PASCOAL, Mariana, 2014, “*BAIXA CRÚZIA / Contribuição para a reabilitação de uma área na Baixa de Coimbra*”, Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura, DARQ_FCTUC
- [20] BYRNE, Gonçalo; BANDEIRINHA, José António; GRANDE, Nuno; LOBO, Rui; RABAÇA, Armando, 2019 “*Metro ligeiro de superfície na baixa de Coimbra*, in Impactum Coimbra University Press
- [21] FARIA, José Santiago, 2006, “A Rua da Sofia e os Estudos Urbanísticos para a Cidade de Coimbra”, in Monumentos – Revista Semestral de Edifícios e Monumentos, nº25
- [22] FIGUEIRA, Jorge, 2006, “No lugar da Avenida Central”, in Monumentos Revista Semestral de Edifícios e Monumentos, nº25
- [23] SOLDADO, Camilo, “Coimbra vai criar Via Central nos terrenos por onde iria passar o Metro Mondego”, in Público 23/02/2016
- [24] SOLDADO, Camilo, “A Rua da Sofia é Património da Humanidade há cinco anos, mas pouco se nota”, in Público 23/06/2018
- [25] Diário de Coimbra, 1930-2020, 90 anos com Coimbra, julho de 2020.

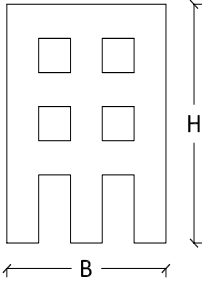
Anexo B – Parâmetros de avaliação da vulnerabilidade

Nas páginas seguintes apresentam-se os 10 parâmetros de avaliação da vulnerabilidade utilizados e as respectivas definições de classe de vulnerabilidade associadas a cada um deles. Este material poderá ser consultado na íntegra em [2].

Parâmetro P1: Geometria da fachada

Este parâmetro avalia a geometria da fachada, uma vez que é uma medida indireta do seu peso e altura. O seu significado apenas faz sentido quando combinado com outros aspectos geométricos avaliados, nomeadamente pelos parâmetros P3, P7 e P8. Na Tabela 7 apresentam-se as classes de vulnerabilidade deste parâmetro.

Tabela 7: Definição das classes de vulnerabilidade para parâmetros P1. [2]

A	$\frac{H}{B} < 0.40$	
B	$0.40 \leq \frac{H}{B} < 0.60$	
C	$0.60 \leq \frac{H}{B} < 1.00$	
D	$\frac{H}{B} \geq 1.00$	

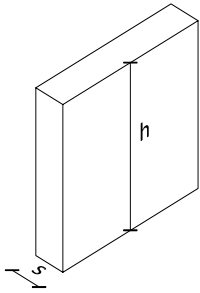
Parâmetro P2: Esbelteza máxima

O parâmetro P2 avalia a esbelteza máxima para as paredes. São, de facto, as paredes mais esbeltas que apresentam maior risco de colapso.

Os limites definidos para a classificação deste parâmetro, apresentam-se na Tabela 8.

Tabela 8: Definição das classes de vulnerabilidade para parâmetros P2 [2]

A	$\frac{h}{s} \leq 9$
B	$9 < \frac{h}{s} \leq 15$
C	$15 < \frac{h}{s} \leq 20$
D	$\frac{h}{s} > 20$



O diagrama mostra um elemento estrutural retangular em perspectiva. A altura é indicada por uma seta vertical e rotulada com 'h'. A espessura é indicada por uma seta diagonal e rotulada com 's'.

Parâmetro P3: Área de aberturas

A resposta de um painel de parede a uma força horizontal é influenciada pela dimensão e configuração das aberturas, uma vez que o caminho de carga e a transmissão de tensão nas paredes, controla e define os mecanismos de dano no próprio plano da fachada.

Quanto menor a área e espessura das paredes resistentes, menor a capacidade de dissipação de energia e maior será o dano sofrido pelos nembros de parede, evidenciando insuficiente capacidade de corte. Naturalmente, a capacidade de corte, também dependerá da qualidade da alvenaria e da sua espessura (parâmetros P2 e P5). O critério de classificação deste parâmetro apresenta-se na Tabela 9.

Tabela 9: Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P3 [2]

Parâmetro P3	
A	Área de aberturas inferior a 20 %
B	Área de aberturas inferior a 35 %
C	Área de aberturas inferior a 60 %
D	Área de aberturas superior a 60 %

Parâmetro P4: Desalinhamento de aberturas

A área de aberturas nas paredes e o seu desalinhamento, tanto na vertical como na horizontal, influenciam os mecanismos de rotura quer no plano da parede, quer para fora do plano. A definição das classes de vulnerabilidade associadas a este parâmetro estão expressas na Tabela 10.

Tabela 10 : Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P4 [2]

Parâmetro P4	
A	Aberturas de dimensão regular e alinhadas em altura.
B	Aberturas de dimensão regular ou irregular desalinhadas horizontalmente em mais de 1/2 da sua altura.
C	Aberturas de dimensão regular ou irregular desalinhadas verticalmente em mais de 1/2 da sua largura.
D	Aberturas de dimensão regular ou irregular totalmente desalinhadas vertical ou horizontalmente. Casos de abertura de grandes vãos ao nível de qualquer piso.

Parâmetro P5: Qualidade dos materiais

Este parâmetro P5 avalia a qualidade das alvenarias, em função de três aspectos: i) homogeneidade do material constituinte, forma, dimensão e natureza; ii) configuração de assentamento e arranjo da alvenaria; e, iii) tipo de ligação transversal entre panos da própria parede.

A classificação das classes de vulnerabilidade pode ser feita mediante os critérios descritos na Tabela 11.

Tabela 11 : Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P5 [2]

Parâmetro P5	
A	Alvenaria de tijolo de boa qualidade (maciço ou perfurado até 45% de vazios). Alvenaria de pedra bem talhada com unidades homogéneas e de tamanho uniforme em toda a extensão das paredes. Alvenaria de pedras irregulares, bem argamassada e travada/embricada, existindo ligação transversal entre as duas faces da parede.
B	Alvenaria de tijolo (área perfurada < 45%). Alvenaria de pedra bem talhada com unidades pouco homogéneas em toda a extensão das paredes. Alvenaria de pedra irregular com ligação transversal entre as duas faces da parede.
C	Alvenaria de tijolo de baixa qualidade com irregularidades de assentamento e de ligação. Alvenaria de pedra com unidades não trabalhadas e de dimensões heterogéneas. Alvenaria de pedra irregular sem ligação transversal, no entanto bem argamassada e travada.
D	Alvenaria de tijolo de má qualidade com incrustação de fragmentos de pedra. Alvenaria de pedra com unidades muito irregulares e sem travamento cuidado (criando vazios). Alvenaria de pedra irregular sem ligação transversal, mal argamassada e mal travada.

Parâmetro P6: Estado de conservação

Para a classificação deste parâmetro é importante que se conheça a configuração, abertura, localização e origem da fissuração. Na análise deste parâmetro a observação deve ser especialmente dirigida às zonas dos cunhais e ligações às paredes ortogonais. As fissuras ou desligamentos são vulgares em edifícios em banda.

Na Tabela 12 apresentam-se as classificações para este parâmetro.

Tabela 12 : Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P6 [2]

Parâmetro P6	
A	A fachada não se encontra fissurada.
B	A fachada encontra-se fissurada ao nível dos revestimentos, junto a pontos de concentração de tensões (cantos). A fachada apresenta sinais de fissuração reparada.
C	A fachada apresenta sinais de assentamento (fissuração em espinha de peixe ou inclinada), fissuras a meio vão das aberturas (flexão), fissuras de desligamento com abertura crescente em altura, fissuras por impulso da cobertura ou por transferência de carga indevida, fissuras inclinadas (por aberturas desalinhas, caminho de carga).
D	A fachada apresenta fissuras trespassantes e sinais de desagregação graves. Paredes de fachada abauladas ou fora de prumo.

Parâmetro P7: Eficiência da ligação às paredes ortogonais

Este parâmetro avalia a qualidade das ligações às paredes ortogonais. A eficiente ligação entre a parede de fachada e as paredes que lhe são ortogonais, seja pelo aparelho cruzado da alvenaria no cunhal, seja pela passagem de tirantes ou existência de uma cinta piso a piso, minimiza os mecanismos de colapso para fora do plano.

A avaliação deste parâmetro e a sua classificação é feita com base na Tabela 13.

Tabela 13 : Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P7 [2]

Parâmetro P7	
A	A fachada encontra-se bem ligada às paredes ortogonais, aos pavimentos e cobertura (por meio de elementos metálicos de cintagem, tirantes e ainda por boas técnicas de assentamento e travamento da alvenaria). Verificam-se estas formas de ligação em todos os cunhais e ligações ortogonais entre paredes.
B	A fachada encontra-se apenas bem ligada por boas técnicas de assentamento e travamento da alvenaria nos cunhais e não há sinais de fragilização. Verificam-se as condições da classe A apenas em alguns cunhais e ligações ortogonais.
C	A fachada não se encontra bem ligada às paredes de empena ortogonais (situação comum para os edifícios em banda construídas em fases distintas) mas não há sinais de fragilização. Poder-se-ão verificar as condições da classe B apenas em alguns cunhais e ligações ortogonais.
D	A fachada apresenta deformações, com risco considerável de derrocada (fissuras que denunciam esta situação de falta de estabilidade). Verifica-se desprendimento, desligamento ou fissuração trespassante na zona dos cunhais e ligações ortogonais.

Parâmetro P8: Ligação aos diafragmas horizontais e cobertura

Este parâmetro avalia a eficiência das ligações dos diafragmas horizontais e da cobertura à parede de fachada. Consideram-se boas soluções de ligação: um elemento contínuo de ligação em madeira (frechal); uma viga de cintagem embebida na parede; e a ligação com recurso a elementos metálicos. Refira-se que a boa ligação dos pavimentos às paredes pressupõe que as ligações, quer pontuais, quer contínuas, devem ser executadas em todos os elementos do pavimento e em todo o perímetro nas duas direções do pavimento. Na Tabela 14 apresenta-se a definição das classes de vulnerabilidade para este parâmetro.

Tabela 14 : Definição das classes de vulnerabilidade para o Parâmetro P8 [2]

Parâmetro P8		
Nº de diafragmas horizontais com ligação eficiente (%)	Classe	FZA ou DA ou FS
$\geq 75\%$	A	B
$\geq 50\%$ e $< 75\%$	B	C
$\geq 25\%$ e $< 50\%$	C	D
$< 25\%$	D	-

FZA – Fragilização dos pavimentos na zona de apoio; **DA** – Sinais de deformação, apodrecimento, retração e distorção grave; **FS** – Falta de segurança de circulação

Parâmetro P9: Impulsos da cobertura

Os critérios utilizados na definição deste parâmetro são essencialmente relacionados com a configuração estrutural da cobertura (peso, dimensão do vão e condições de apoio no perímetro). A possibilidade da cobertura provocar impulsos horizontais nas paredes é sem dúvida um aspecto condicionante no desempenho do edifício, que muito depende da solução estrutural da cobertura, da existência de elementos de ligação da cobertura à parede, da eventual presença de uma cinta perimetral ou de tirantes, e ainda, do seu estado de conservação. O caráter impulsivo da cobertura é especialmente importante para as ações sísmicas porque poderá incrementar os impulsos sobre as paredes de fachada, provocando eventualmente o colapso para fora do seu plano.

As classes de vulnerabilidade deste parâmetro são definidas na Tabela 15.

Tabela 15 : Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P9 [2]

Parâmetro P9					
Impulso	Cinta perimetral	Tirantes	Classe	Estado de conservação	
				Mau	Péssimo
Não impulsivo	1 (Sim)	1 – 0	A	B	C
	1 – 0	1	A	B	C
	0 (Não)	0	B	C	D
Pouco impulsivo	1	1 - 0	B	C	D
	1 – 0	1	B	C	D
	0	0	C	D	D
Impulsivo	1	1 – 0	C	D	D
	1 – 0	1	C	D	D
	0	0	D	-	-

Parâmetro P10: Elementos ligados à fachada

Este parâmetro avalia a ligação de elementos conectados e/ou apoiados na fachada que constituem um risco de queda e um fator de agravamento dos danos para a parede de fachada quando sujeita a uma ação sísmica, como é o caso de varandins ou de equipamento mecânico. Na Tabela 16 apresenta-se a definição das classes de vulnerabilidade para o último parâmetro deste índice.

Tabela 16 : Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P10 [2]

Parâmetro P10	
A	Não existem varandas, platibandas, ornamentos, foreiras, nem outros elementos (equipamentos mecânicos, aparelhos de ar condicionado, sinais luminosos ou reclamos etc.) ligados à fachada.
B	Existência de alguns elementos de peso reduzido (candeeiros, sinais luminosos, reclamos, toldos, etc.) ligados à fachada. Não existem varandas, nem platibandas.
C	Existência de alguns elementos de peso considerável (equipamentos mecânicos, aparelhos de ar condicionado, etc.) ligados à fachada. Não existem varandas nem platibandas.
D	Existência de varandas, platibandas, ou outros elementos pesados ligados à fachada.