



LISBOA RESILIENTE AOS SISMOS
CICLO DE FORMAÇÃO

Lições Professor João Appleton

28 setembro
'22

Quando e como realizar o relatório de avaliação da vulnerabilidade sísmica?

Quando e Como realizar o Relatório de Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica

Rita Bento

Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Organização:



Com o apoio de:



ORDEM DOS ENGENHEIROS



ORDEM DOS ENGENHEIROS TÉCNICOS



SOCIEDADE PORTUGUESA DE ENGENHARIA SÍSMICA



Sociedade Portuguesa de Geotecnia

ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Legislação Nacional
- Classificação, caracterização de edifícios antigos da cidade de Lisboa
- Métodos Expeditos
- Passos essenciais para a avaliação sísmica adequada de edifícios existentes - Parte 3 do Eurocódigo 8
- Relatório de Avaliação de Vulnerabilidade Sísmica
- Comentários Finais | Discussão

LEGISLAÇÃO NACIONAL

REGULAMENTOS

1958 – Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos, RSCCS

1961 – Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes, RSEP

1983 – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, RSA

2010 – **Eurocódigo 8** – Projeto de estruturas para resistência aos sismos. **Parte 1**: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios (NP EN 1998-1:2010)

2014 – Regime Especial de Reabilitação Urbana, **RERU**

2017 – **Eurocódigo 8** – Projeto de estruturas para resistência aos sismos. **Parte 3**: Avaliação e reabilitação de edifícios (NP EN 1998-3:2017)

2019 – **Decreto-Lei nº 95/2019** – Estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas

2019 – **Portaria nº 302/2019** – Define os termos em que obras estão sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica e as situações em que é exigível a elaboração de projeto de reforço sísmico

2019 – **Despacho Normativo nº 21/2019** – Aprova as condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais nos projetos de estruturas de edifícios

LEGISLAÇÃO NACIONAL

- **Decreto-Lei nº 95/2019** (18/07/2019)
 - Estabelece o regime aplicável à **reabilitação** de edifícios ou frações autónomas
- **Portaria nº 302/2019 – Vulnerabilidade Sísmica** (12/09/2019)
 - 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**
- **Despacho Normativo nº 21/2019 – Eurocódigos Estruturais** (17/09/2019)
 - Aprova as condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais nos projetos de estruturas de edifícios

LEGISLAÇÃO NACIONAL

Portaria nº 302/2019 – Vulnerabilidade Sísmica (12/09/2019)

Artigo 1º - Análise da Vulnerabilidade Sísmica

Nº 3

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 EN1998-3:2017, é obrigatória a elaboração de projeto de reforço sísmico, ao abrigo da mesma norma

Nº 4

Compete ao LNEC a publicação ou aprovação de disposições construtivas ou métodos de análise da vulnerabilidade sísmica que apoiem a elaboração do relatório de vulnerabilidade sísmica

LEGISLAÇÃO NACIONAL

Portaria nº 302/2019 – Vulnerabilidade Sísmica (12/09/2019)

Site do LNEC: <http://www.lnec.pt/pt/servicos/ferramentas/>

Em cumprimento do artigo 1º da [Portaria nº 302/2019](#), de 12 de setembro de 2019 o LNEC disponibiliza para download os seguintes documentos:

- [Guião de avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes de betão armado](#) (1396 KB);
- [Metodologia para a avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes baseada em análises de fiabilidade estrutural - Edifícios de betão armado](#) (8943 KB).

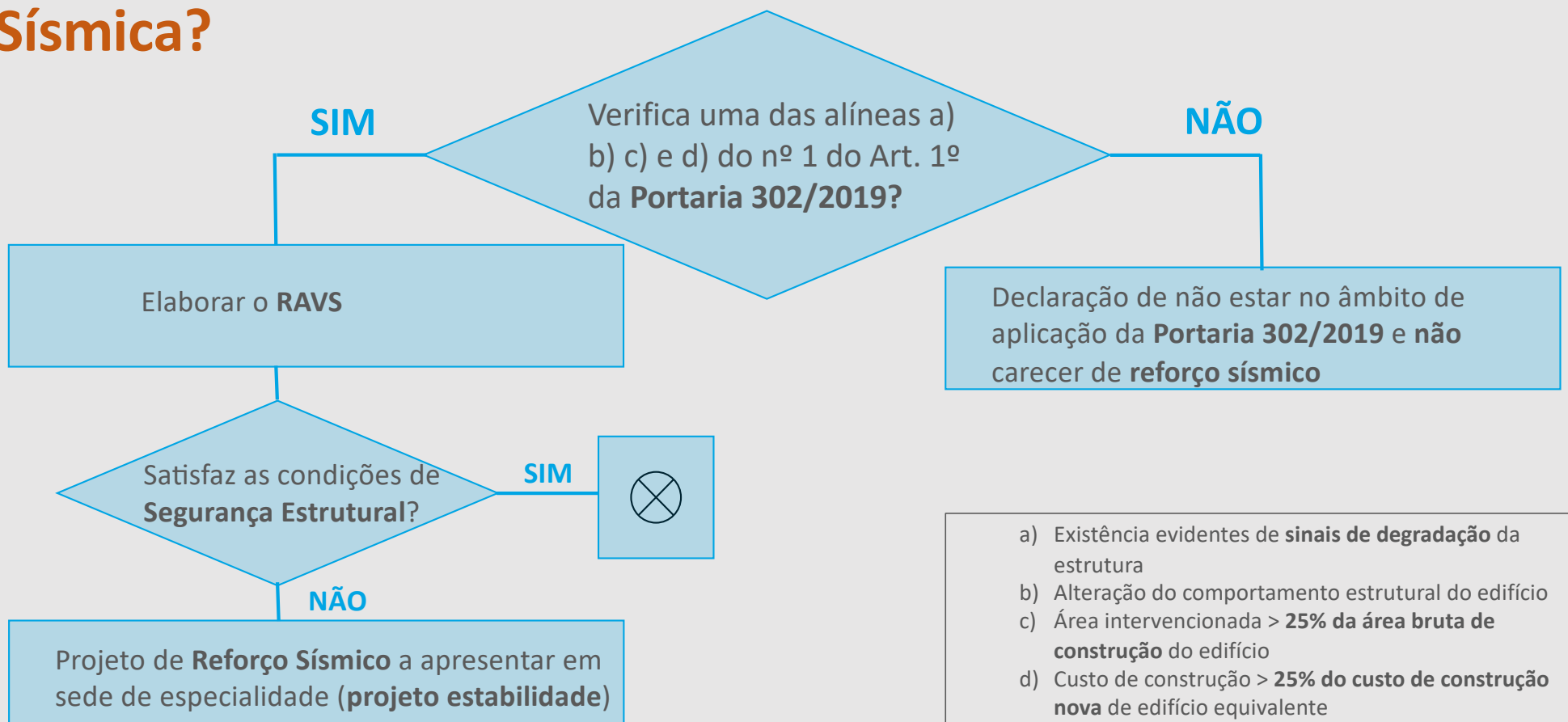
Alvenaria

- [Aspetos gerais da aplicação em Portugal do Eurocódigo 8 – Parte 3 – Anexo C \(Informativo\) – Edifícios de alvenaria](#) (Artigo publicado na RPEE, n.º 12, março de 2020)
- [Métodos expeditos para avaliação sísmica de edifícios de alvenaria com pavimentos rígidos](#) (Artigo publicado na RPEE, n.º 14, novembro de 2020).
- [Métodos expeditos para avaliação sísmica de edifícios de alvenaria com pavimentos flexíveis](#) (Artigo publicado na RPEE nº16, julho de 2021)

BA

- [Avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes em betão armado](#) (Artigo publicado na RPEE nº 10, julho 2019)

Quando realizar o relatório de Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica?



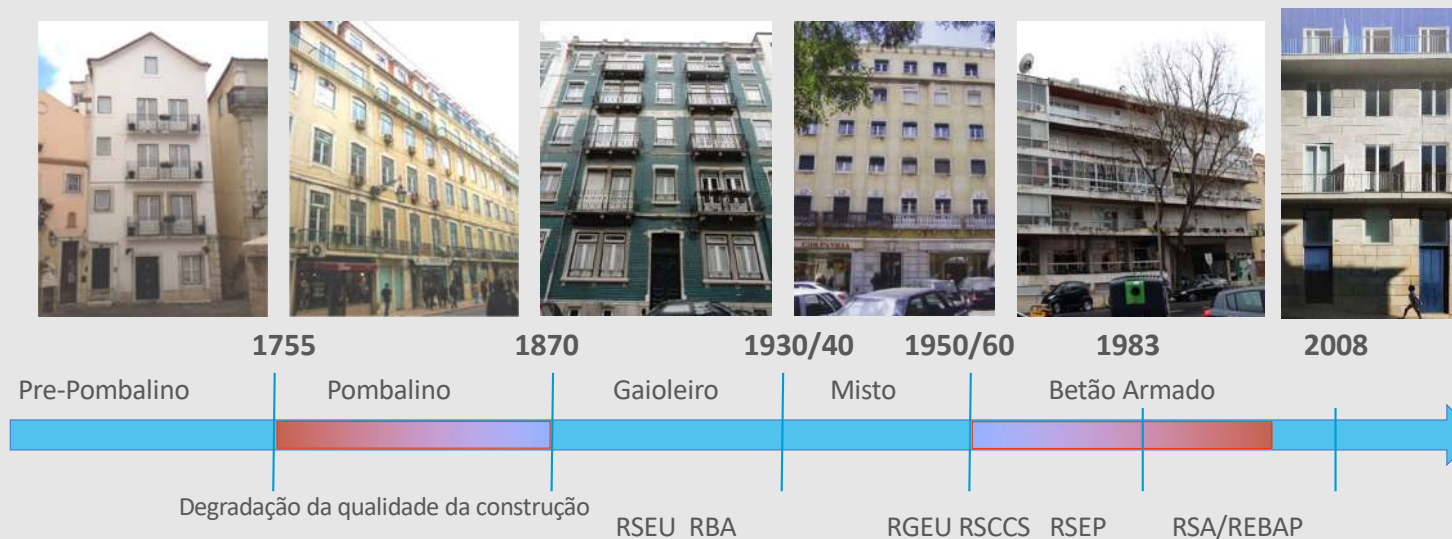
ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Legislação Nacional
- **Classificação, caracterização de edifícios antigos da cidade de Lisboa**
- Métodos Expeditos
- Passos essenciais para a avaliação sísmica adequada de edifícios existentes - Parte 3 do Eurocódigo 8
- Relatório de Avaliação de Vulnerabilidade Sísmica
- Comentários Finais | Discussão

CLASSIFICAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS DA CIDADE DE LISBOA

Vulnerabilidades

TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS



A cidade é atualmente constituída por cerca de 60 000 edifícios, pertencentes a épocas e tipologias construtivas muito variadas, onde predomina os edifícios <1983 e a alvenaria.

DANOS EDIFÍCIOS DE ALVENARIA - VULNERABILIDADES

Danos no plano da parede

Danos Lintéis

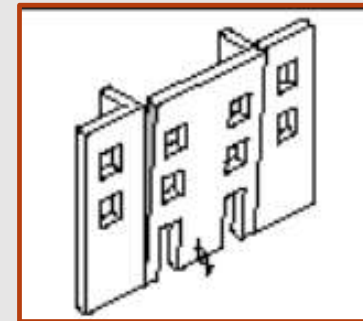


Danos
Nembos

Sismo 2016/17,
Itália Central

DANOS EDIFÍCIOS DE ALVENARIA - VULNERABILIDADES

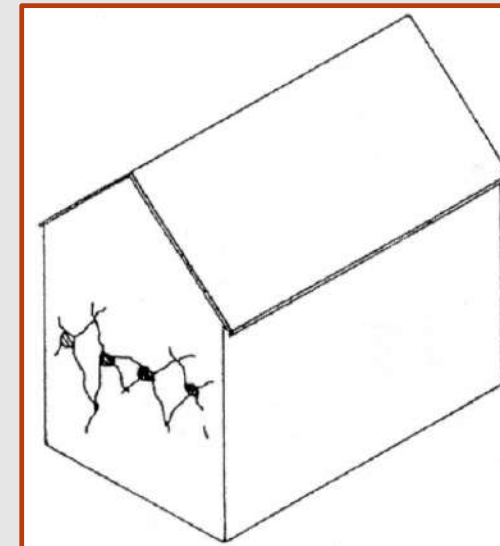
Catálogo de mecanismos de danos devido a sismos



(Direcção-Geral do Planeamento Urbanístico. Records of the Architectonic Inventory. Angra Do Heroísmo: 1980)

DANOS EDIFÍCIOS DE ALVENARIA - VULNERABILIDADES

Catálogo de mecanismos de danos devido a sismos



Adaptado de(Magenes, 2022)

DANOS EDIFÍCIOS DE ALVENARIA - VULNERABILIDADES

Catálogo de mecanismos de danos devido a sismos - Danos provocados pelos pisos rígidos e vigas BA (alterações estruturais)



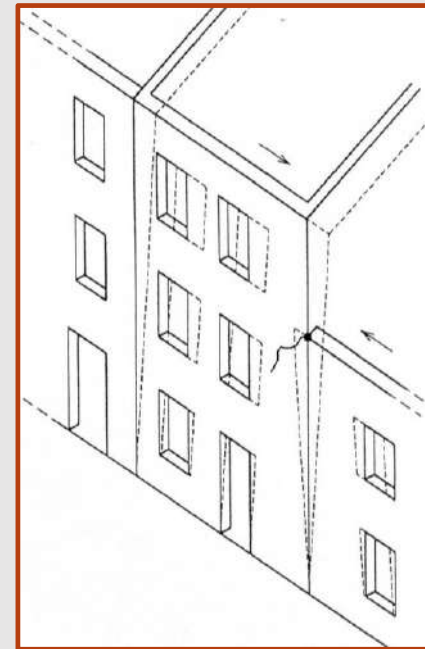
Sismo de Áquila de 2009, Itália



Adaptado de(Magenes, 2022)

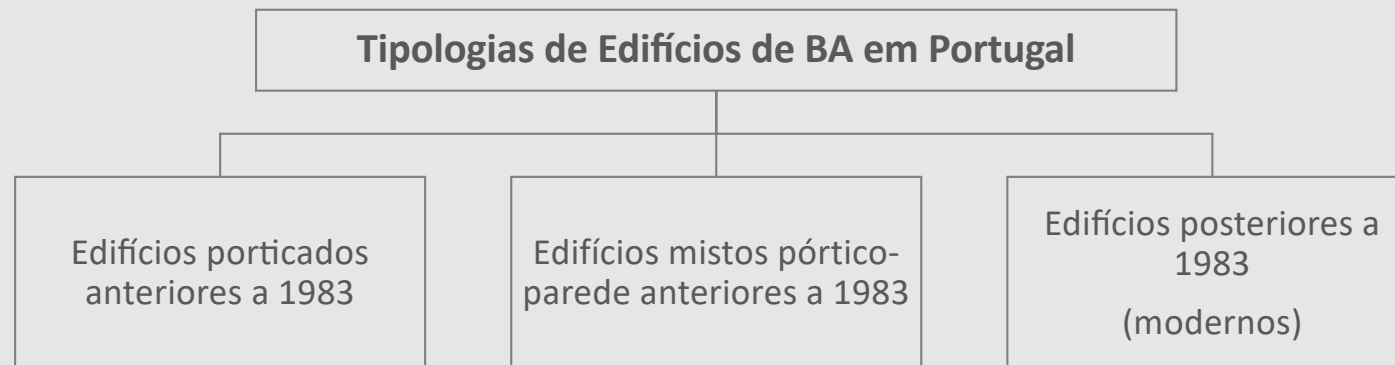
DANOS EDIFÍCIOS DE ALVENARIA - VULNERABILIDADES

Danos provocados pelo impacto de edifícios adjacentes



Adaptado de(Magenes, 2022)

TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

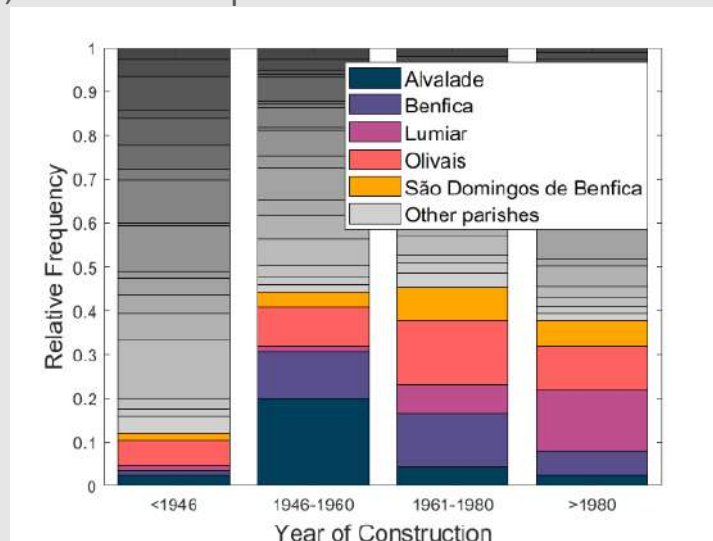


TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

Em relação ao período de construção, os edifícios BA podem ser classificados em quatro grupos diferentes:

- Edifícios de transição ou edifícios mistos de alvenaria-BA, construídos até ~1950;
- 1ª fase de edifícios BA**, construídos antes da introdução dos códigos de resistência sísmica até 1958;
- 2ª fase de edifícios BA**, construídos entre ~1958 e 1983;
- Edifícios modernos de BA**, construídos após 1983.

Appleton, J. Tipificação do Parque Construído. In Sismos e Edifícios; Orion, Ed.; 2008.



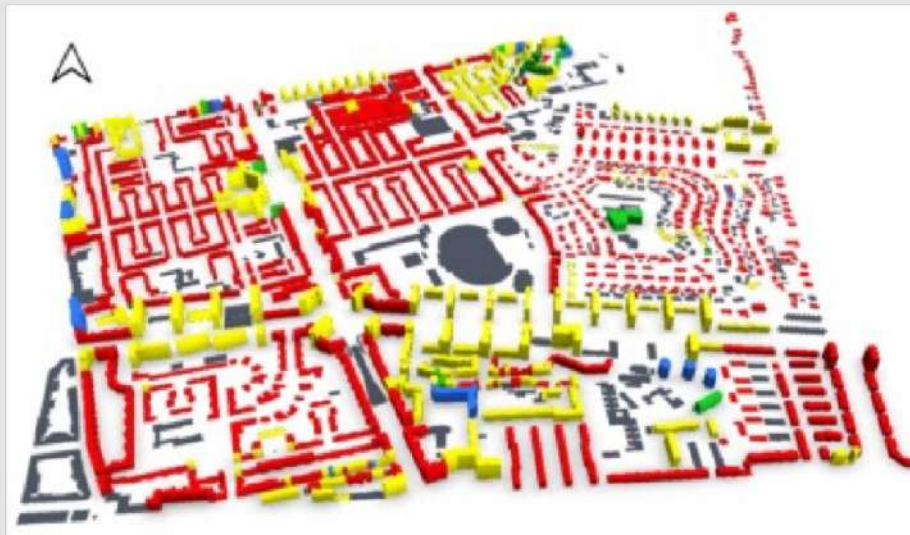
Desagregação do parque imobiliário BA pelas várias freguesias de Lisboa

Xavier, V., Couto, R., Monteiro, R., Castro, J. M., Bento, R. - "Detailed Structural Characterization of Existing RC Buildings for Seismic Risk Assessment of the Lisbon Area", Buildings, MDPI, Special Issue intitulado " Assessment and Retrofit of Buildings " (ISSN 2075-5309, IF 2.648), Editores convidados Andreas Kappos e Leonidas Alexandros S. Kouris, Buildings 2022,12, 642. <https://doi.org/10.3390/buildings12050642> (2022).

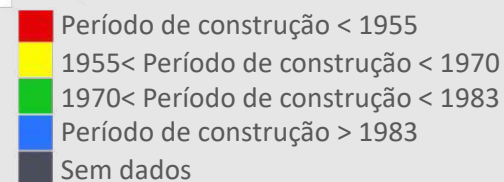
TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

ALVALADE

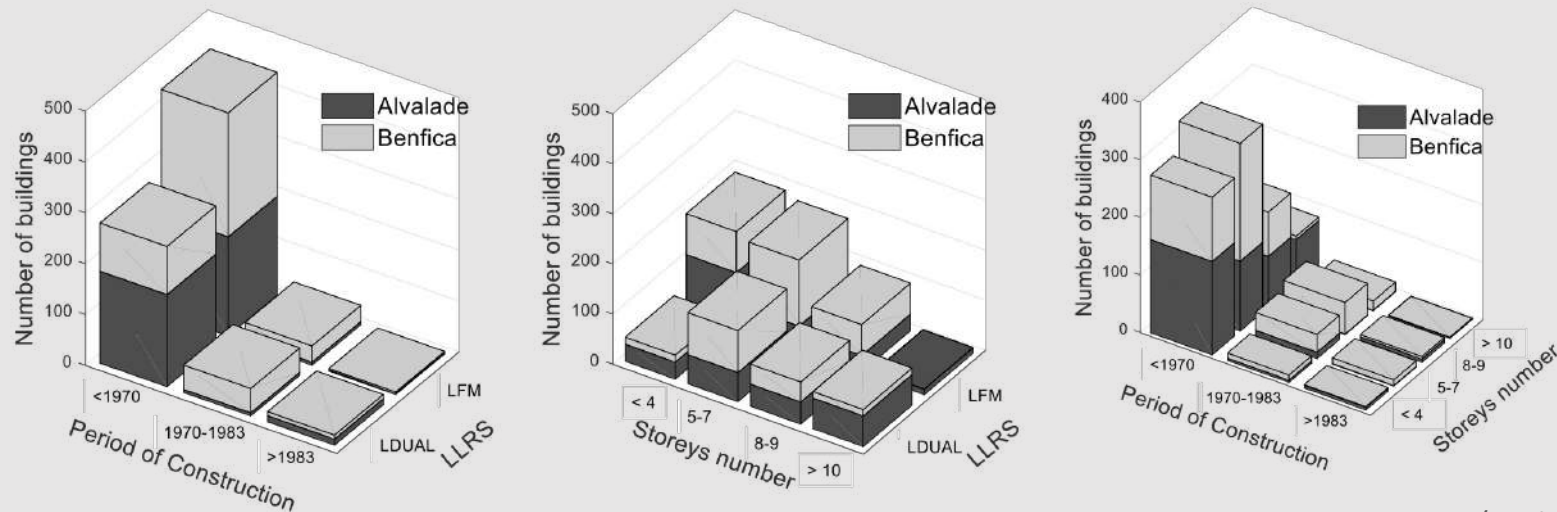


BENFICA



TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO, FREGUESIA ALVALADE E BENFICA, CONSTRUÍDOS ATÉ 1983



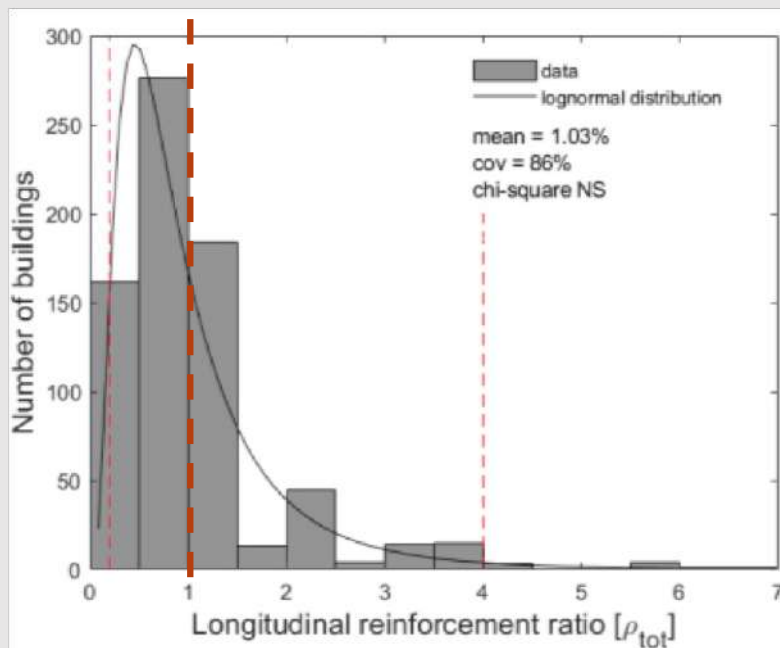
(Xavier et al., 2022)

- Quase todo o parque habitacional de BA foi construído antes de 1970
- Há uma tendência de adotar o sistema Porticado (LFM - *Lateral Moment-Frame*) para edifícios baixos/médios e o sistema Misto (LDUAL- *Lateral Dual Frame-Wall*) para edifícios altos

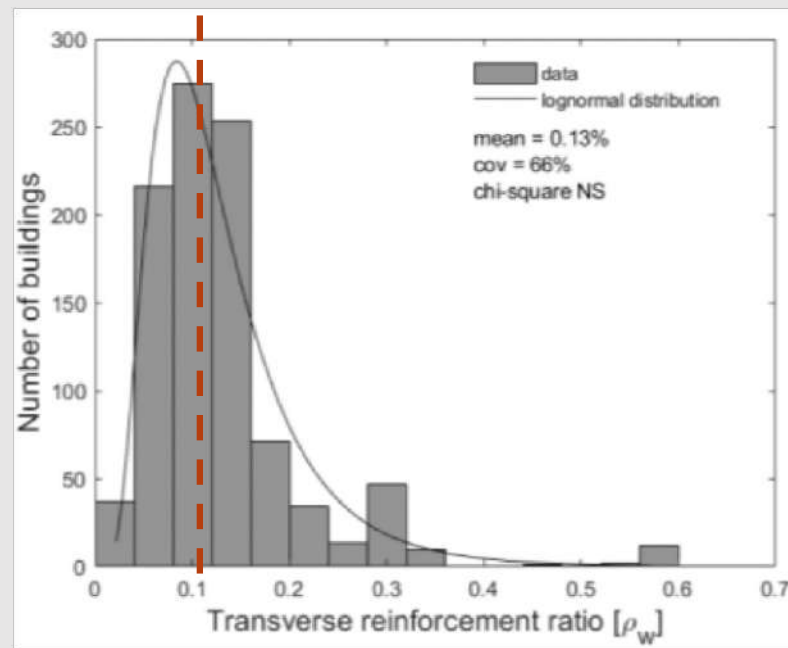
TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO, FREGUESIA ALVALADE E BENFICA, CONSTRUÍDOS ATÉ 1983

Taxas de armaduras **longitudinais** dos pilares
Média **1,03%**



Taxas de armaduras **Transversal** dos pilares
Média **0,13%**



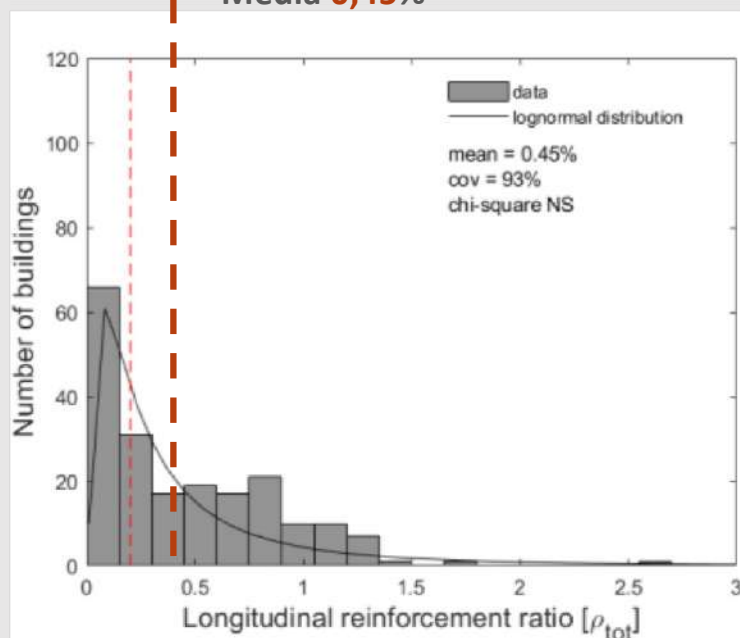
(Xavier et al., 2022)

TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO, FREGUESIA ALVALADE E BENFICA, CONSTRUÍDOS ATÉ 1983

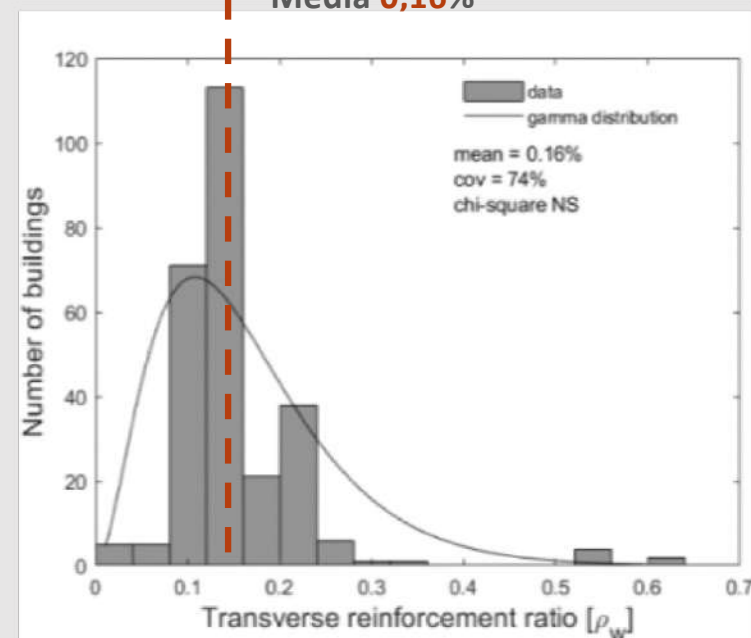
Taxas de armaduras **longitudinais** das paredes

Média **0,45%**



Taxas de armaduras **Transversal** das paredes

Média **0,16%**



- 32% dos edifícios mistos analisados apresentam paredes de BA com **taxas de armadura longitudinal inferiores às exigidas em EC2**
- Estruturas projetadas antes de 1970 apresentam **armadura transversal nas paredes de BA com grandes espaçamentos**

DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

1

Pilares com comportamento frágil, controlado pelo corte – colapso por corte e esforço axial de edifícios porticados de BA



2

Nós pilares-vigas não confinados – colapso por corte e esforço axial dos nós viga-pilar não confinados, em particular nos nós de canto



DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

3

Piso Vazado (flexível – *soft-storey*)
– Pilar fraco-Viga Forte, ou outra razão que leva ao colapso do piso



4

Pórticos Vulneráveis – Deficiências globais em termos de rigidez e de resistência



DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

5

Irregularidade em planta – Diferentes condições (disposição assimétrica dos diferentes elementos verticais resistentes)



6

Irregularidade em altura – Recuos causando concentração de dano e colapso onde a rigidez e a resistência mudam. Também pode ser causado por alterações no material ou no sistema resistente



ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Legislação Nacional
- Classificação, caracterização de edifícios antigos da cidade de Lisboa
- **Métodos Expeditos**
- Passos essenciais para a avaliação sísmica adequada de edifícios existentes - Parte 3 do Eurocódigo 8
- Relatório de Avaliação de Vulnerabilidade Sísmica
- Comentários Finais | Discussão

MÉTODOS EXPEDITOS

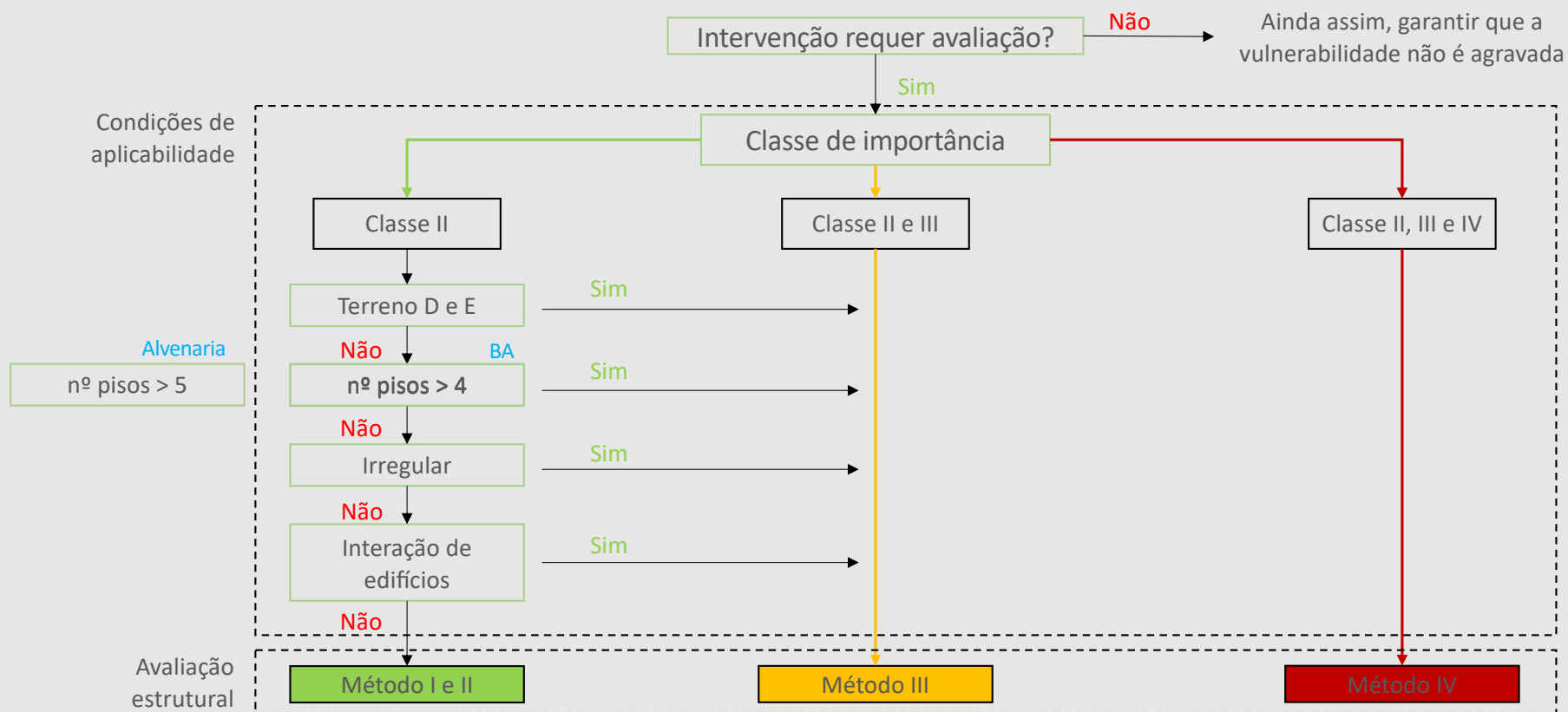
MÉTODOS EXPEDITOS - LEGISLAÇÃO NACIONAL

Notas Técnicas – RPEE

A avaliação estrutural de edifícios de betão armado e de alvenaria pode ser realizada através de 4 metodologias (Método I a IV), que apresentam níveis crescentes de precisão e complexidade:

- **Método I**
 - **Método II**
- Conduzem a resultados mais conservativos em relação aos métodos de referência da NP EN 1998-3 (2017)
- Definidos de forma a assegurar o mesmo nível de fiabilidade estrutural para diferentes graus de perigosidade sísmica em Portugal**
- **Método III** ————— Método de avaliação de referência correspondente à metodologia preconizada na NP EN 1998-3 (2017)
 - **Método IV** ————— Análise explicitamente probabilística (complexa) – Recomendada apenas a estruturas da Classe de Importância III ou IV

MÉTODOS EXPEDITOS



Adaptado de (De Sousa et al., 2019)

MÉTODOS EXPEDITOS

Método I

De acordo com o método I, a segurança do edifício relativamente à ação sísmica é verificada se, ao nível de **cada piso j**:

Betão Armado porticados - a percentagem de **área de pilares existentes** relativamente à área do piso ($A_{PC,j}$) for igual ou superior à percentagem de **área de pilares exigida** ($A_{PE,j}$):

Alvenaria - cada uma das duas direções principais do edifício, a percentagem de **área de paredes na direção da ação sísmica** relativamente à área do piso ($A_{PC,j}$) for igual ou superior à percentagem de **área de paredes exigida** ($A_{PE,j}$):

$$A_{PC,j} \geq A_{PE,j}$$

Método II

De acordo com o método II, a segurança do edifício relativamente à ação sísmica é verificada se, ao nível de cada piso j, e em cada uma das duas direções principais do edifício, a **capacidade resistente do edifício estimada em termos do coeficiente sísmico** ($CS_{C,j}$) for igual ou superior ao **coeficiente sísmico global exigido** ($CS_{E,j}$):

$$CS_{C,j} \geq CS_{E,j}$$

MÉTODOS EXPEDITOS

CRITÉRIOS DE APLICABILIDADE - BA



CLASSE DE IMPORTÂNCIA



NÚMERO DE PISOS



REGULARIDADE ESTRUTURAL



INTERAÇÃO COM EDIFÍCIOS ADJACENTES



CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS LOCAIS

MÉTODOS EXPEDITOS

MÉTODO I - BA

De acordo com o método I, a segurança do edifício relativamente à ação sísmica é verificada se, ao nível de **cada piso j**, a percentagem de **área de pilares existentes** ($A_{PC,j}$) relativamente à área do piso for igual ou superior à percentagem de **área de pilares exigida** ($AP_{E,j} = AP_{D,j}$):

$$A_{PC,j} \geq A_{PE,j} \rightarrow A_{PE,j} = \eta_j \times A_{PE}$$

Valores do coeficiente η_j

Piso	Nr de pisos do edifício			
	4	3	2	1
4	0,40	-	-	-
3	0,70	0,50	-	-
2	0,90	0,83	0,67	-
1	1,00	1,00	1,00	1,00

Valores de A_{PE}

Zona Sísmica	1 piso			2 pisos			3 pisos			4 pisos			
	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	
1.1	0.9	1.2	1.5	1.6	2.1	2.6	2.2	2.9	3.5	2.9	3.6	4.3	Sismo afastado Continente
1.2	0.6	0.9	1.2	1.2	1.7	2.0	1.7	2.3	2.8	2.2	2.9	3.5	
1.3	0.4	0.6	0.8	0.8	1.2	1.5	1.1	1.6	2.0	1.5	2.1	2.5	
1.4	0.2	0.3	0.5	0.4	0.7	0.9	0.6	1.0	1.2	0.8	1.3	1.6	
1.5	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	0.6	0.4	0.6	0.8	
1.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3	0.4	
2.1	0.5	0.7	0.9	0.8	1.1	1.3	1.0	1.3	1.5	1.0	1.3	1.6	Sismo próximo Açores
2.2	0.3	0.5	0.6	0.5	0.8	1.0	0.6	0.9	1.2	0.7	1.0	1.2	Sismo próximo Continente
2.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	0.7	0.4	0.7	0.8	0.5	0.7	0.9	
2.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.5	0.2	0.4	0.5	
2.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	

De Sousa et al. (2019 b)

Os valores da percentagem de área de pilares exigidos (A_{PE}) são função da zona sísmica, do número de pisos e do tipo de terreno

MÉTODOS EXPEDITOS

MÉTODO I - BA

De acordo com o método I, a segurança do edifício relativamente à ação sísmica é verificada se, ao nível de **cada piso j**, a percentagem de **área de pilares existentes** ($A_{PC,j}$) relativamente à área do piso for igual ou superior à percentagem de **área de pilares exigida** ($A_{PE,j}$):

$$\begin{array}{c} \textcircled{A_{PC,j}} \geq A_{PE,j} \\ \downarrow \\ \frac{\sum_{i=1}^n A_{P,ij}}{A_E} \end{array}$$

Os valores da percentagem de área de pilares existentes ($A_{PC,j}$) são obtidos através do rácio entre a área de pilares ao nível do piso j ($A_{P,ij}$) e a área total do piso (A_E)

A_E - Área do piso, medida pelo extradorso das paredes exteriores com a exclusão das seguintes áreas: sótãos não habitáveis, áreas destinadas a estacionamento, áreas técnicas terraços, varandas e alpendres, galerias exteriores, arruamentos e outros espaços livres de uso público cobertos pelo edifício

MÉTODOS EXPEDITOS

MÉTODO II - BA

De acordo com o **método II**, a segurança do edifício relativamente à ação sísmica é verificada se, ao nível de cada piso j , e em cada uma das duas direções principais do edifício, a **capacidade resistente do edifício estimada em termos do coeficiente sísmico ($CS_{C,j}$)** for igual ou superior ao **coeficiente sísmico global exigido ($CS_{E,j}$)**:

$$CS_{C,j} \geq CS_{E,j} \rightarrow CS_{E,j} = \eta_j \times CS_E$$

Valores do coeficiente η_j

Piso	Nr de pisos do edifício			
	4	3	2	1
4	0.40	-	-	-
3	0.70	0.50	-	-
2	0.90	0.83	0.67	-
1	1.00	1.00	1.00	1.00

Valores de CS_E

Zona Sísmica	1 piso			2 pisos			3 pisos			4 pisos			
	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	
1.1	0.26	0.37	0.45	0.24	0.32	0.39	0.22	0.29	0.35	0.22	0.27	0.32	Sismo afastado Continente
1.2	0.19	0.28	0.35	0.18	0.25	0.31	0.17	0.23	0.28	0.16	0.22	0.26	
1.3	0.12	0.19	0.24	0.12	0.18	0.22	0.11	0.17	0.20	0.11	0.16	0.19	
1.4	0.06	0.11	0.14	0.07	0.10	0.13	0.06	0.10	0.12	0.06	0.09	0.12	
1.5	0.02	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	
1.6	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	
2.1	0.14	0.22	0.26	0.12	0.16	0.19	0.10	0.13	0.15	0.08	0.10	0.12	Sismo próximo Açores
2.2	0.09	0.15	0.19	0.08	0.12	0.15	0.06	0.10	0.12	0.05	0.07	0.09	
2.3	0.05	0.09	0.12	0.05	0.08	0.10	0.04	0.07	0.08	0.04	0.05	0.07	Sismo próximo Continente
2.4	0.02	0.04	0.06	0.02	0.04	0.06	0.02	0.03	0.05	0.01	0.03	0.04	
2.5	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	

Os valores do coeficiente sísmico global exigido (CS_E) são função do número de pisos do edifício, zona sísmica e tipo de terreno onde o edifício se encontra implantado

MÉTODOS EXPEDITOS

MÉTODO II - BA

A capacidade resistente do edifício é definida como o rácio entre a resistência horizontal de um piso $V_{H,j}$ e o peso total do edifício correspondente à combinação sísmica de ações W_E :

$$CS_{C,j} = \frac{V_{H,j}}{W_E} = \frac{\sum_{i=1}^n \min(V_{F,i}, V_{C,j})}{W_E}$$

$CS_{C,j} \geq CS_{E,j}$

Resistência dos pilares devido a mecanismos de flexão

$$V_{F,i} = 1,24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{l,i} f_{yl}}{L_{v,i}} \right)^{0,73}$$
$$W_E = \sum_{j=1}^n (W_{E,j} \cdot A_{s,j})$$

MÉTODOS EXPEDITOS

MÉTODO II - BA

A capacidade resistente do edifício é definida como o rácio entre a resistência horizontal de um piso $V_{H,j}$ e o peso total do edifício correspondente à combinação sísmica de ações W_E :

$$CS_{C,j} = \frac{V_{H,j}}{W_E} = \frac{\sum_{i=1}^n \min(V_{F,i}, V_{C,i})}{W_E}$$

$CS_{C,j} \geq CS_{E,j}$

Resistência dos pilares devido a mecanismos de **flexão**

$$V_{F,i} = 1,24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{l,i} f_{yl}}{L_{v,i}} \right)^{0,73}$$

Resistência dos pilares devido a mecanismos de **corte**

$$V_{C,i} = 0,87 A_{c,i} \left(\tau_c \left[1 - 0,16 \min \left(5; \frac{L_{v,i}}{h_i} \right) \right] + \rho_{w,i} f_{yw,i} \right)$$
$$W_E = \sum_{j=1}^n (W_{E,j} \cdot A_{s,j})$$

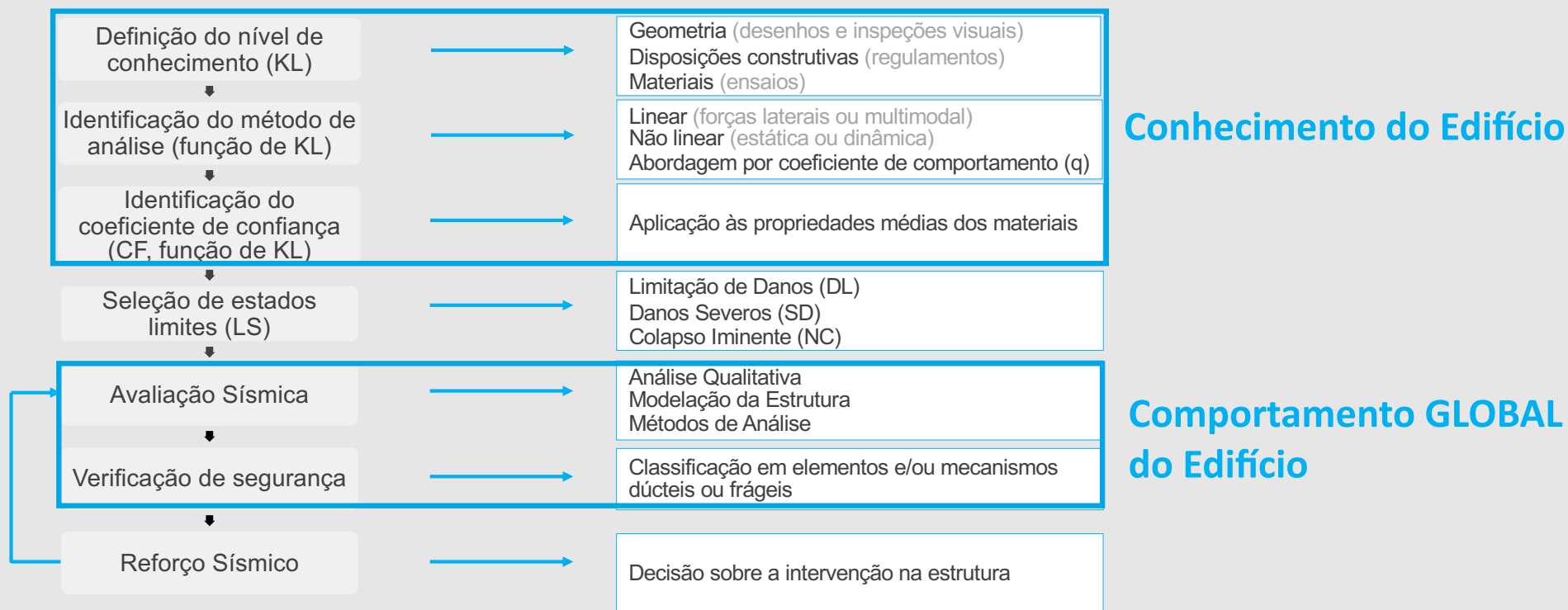
ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Legislação Nacional
- Classificação, caracterização de edifícios antigos da cidade de Lisboa
- Métodos Expedito
- **Passos essenciais para a avaliação sísmica adequada de edifícios existentes - Parte 3 do Eurocódigo 8**
- Relatório de Avaliação de Vulnerabilidade Sísmica
- Comentários Finais | Discussão

PASSOS ESSENCIAIS PARA A AVALIAÇÃO SÍSMICA ADEQUADA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES - PARTE 3 DO EUROCÓDIGO 8

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017)



EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017) – Conhecimento do Edifício

Geometria

- Desenhos de projeto
- Inspeção Visual
- Inspeção Integral

Disposições construtivas

- Projeto simulado
- Desenhos de pormenor de origem incompletos
- Inspeção limitada
- Inspeção alargada

Materiais

- Valores por defeito
- Especificações do projeto de origem
- Ensaios in situ limitados
- Ensaios in situ alargados
- Ensaios in situ completos

Quadro 3.1 – Níveis de conhecimento e correspondentes métodos de análise (LF: método das forças laterais, MRS: análise modal por espectro de resposta) e coeficientes de confiança (CF)

Nível de conhecimento	Geometria	Disposições construtivas	Materiais	Análise	CF
KL1 Limitado		Projeto simulado de acordo com a prática de origem e a partir de uma inspeção <i>in situ</i> limitada	Valores por defeito de acordo com as normas em vigor à data da construção e a partir de ensaios <i>in situ</i> limitados	LF- MRS (coeficiente g)	CF _{KL1}
KL2 Normal	A partir dos desenhos de dimensionamento geral do projeto e de uma inspeção visual de uma amostragem ou a partir de uma inspeção integral	A partir dos desenhos de pormenor de origem incompletos com uma inspeção <i>in situ</i> limitada ou a partir de uma inspeção <i>in situ</i> alargada	A partir das especificações do projeto de origem com ensaios <i>in situ</i> limitados ou a partir de ensaios <i>in situ</i> alargados	Todas as análises	CF _{KL2}
KL3 Integral		A partir dos desenhos de pormenor de origem com uma inspeção <i>in situ</i> limitada ou a partir de uma inspeção <i>in situ</i> completa	A partir dos relatórios de ensaios de origem com ensaios <i>in situ</i> limitados ou a partir de ensaios <i>in situ</i> completos	Todas as análises	CF _{KL3}

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017) – Conhecimento do Edifício

Nível de conhecimento **KL1, KL2, KL3**

Quadro 3.1 – Níveis de conhecimento e correspondentes métodos de análise (LF: método das forças laterais, MRS: análise modal por espectro de resposta) e coeficientes de confiança (CF)

Nível de conhecimento	Geometria	Disposições construtivas	Materiais	Análise	CF
KL1 Limitado		Projeto simulado de acordo com a prática de origem e a partir de uma inspeção <i>in situ</i> limitada	Valores por defeito de acordo com as normas em vigor à data da construção e a partir de ensaios <i>in situ</i> limitados	LF- MRS (coeficiente <i>g</i>)	CF _{KL1}
KL2 Normal	A partir dos desenhos de dimensionamento geral do projeto e de uma inspeção visual de uma amostragem ou a partir de uma inspeção integral	A partir dos desenhos de pormenor de origem incompletos com uma inspeção <i>in situ</i> limitada ou a partir de uma inspeção <i>in situ</i> alargada	A partir das especificações do projeto de origem com ensaios <i>in situ</i> limitados ou a partir de ensaios <i>in situ</i> alargados	Todas as análises	CF _{KL2}
KL3 Integral		A partir dos desenhos de pormenor de origem com uma inspeção <i>in situ</i> limitada ou a partir de uma inspeção <i>in situ</i> completa	A partir dos relatórios de ensaios de origem com ensaios <i>in situ</i> limitados ou a partir de ensaios <i>in situ</i> completos	Todas as análises	CF _{KL3}

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017) – Conhecimento do Edifício

Anexo Nacional complementa com informações adicionais para o conhecimento de edifícios existentes de alvenaria (NA 4.3 b)

b) Níveis de inspeção e de ensaios (3.4.4(1))

v) nos edifícios com estrutura de alvenaria, todas as paredes poderão ter função estrutural, não sendo frequentemente viável a recolha de amostras para ensaio em laboratório. Nestas situações, poderão utilizar-se resultados de ensaios não destrutivos, realizados no local, para identificação da ocorrência de não conformidades e da eventual degradação das características dos materiais; poderão ainda realizar-se ensaios especiais suplementares, tal como recomendado em C.2.4(2) no Anexo C, de forma a melhorar o grau de conhecimento das propriedades das alvenarias ou ainda para avaliar o estado e a qualidade destes materiais.

Salienta-se que, sempre que se efetuar um levantamento de uma estrutura existente, e sobretudo nos casos em que não existe informação prévia detalhada, a informação recolhida nas inspeções *in-situ* pode ser significativamente melhorada a partir de resultados de campanhas de ensaios de medição de vibrações nas estruturas sujeitas apenas ao ruído ambiente, que permitem estimar as características dinâmicas globais da estrutura (frequências naturais, configurações modais e amortecimentos modais equivalentes) e assim extrapolar valores médios para as características mecânicas dos materiais constituintes.

Adicionalmente, este tipo de ensaios permite identificar situações locais de degradação ou rotura, ou ainda localizar irregularidades ou deficiências locais não anteriormente conhecidas, por análise dos modos de vibração reais medidos na estrutura.



NP EN 1998-3 2017. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios (EC8-3). Norma Portuguesa. NP EN 1998-3 2017. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Conhecimento do Edifício ALVENARIA

2ª Geração de EC8-3 (em processo revisão)

(Adaptado de Candeias et al., 2020)

Tipo de alvenaria	f_c [MPa]	f_t [MPa]	f_{v0} [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	w [kN/m ³]
Alvenaria de pedra irregular, com seixos e pedras irregulares distribuídas de forma errática	1,1-1,9	0,03-0,05	-	900	300	19
Alvenaria de pedra não aparelhada com folhas externas de espessura limitada e núcleo de enchimento (três folhas)	2,0-3,0	0,05-0,08	-	1200	400	20
Alvenaria de pedra aparelhada com boa aderência	2,6-3,8	0,08-0,11	-	1700	600	21
Alvenaria regular de pedra macia (blocos de tufo ou arenito)	1,4-2,2	0,05-0,06	-	1100	400	13-16
Alvenaria de pedra aparelhada rija (aparelho regular)	2,0-3,2	-	0,10-0,19	1400	500	13-16
Cantaria construída com pedras de boa qualidade	6,0-8,0	-	0,19-0,25	2800	900	22
Alvenaria de tijolo maciço com argamassa à base de cal	2,5-3,4	0,09-0,14	0,13-0,19	1500	500	18
Alvenaria de tijolo perfurado (índice de furação vertical < 40%) com argamassa à base de cimento e cal	4,9-8,1	-	0,24-0,32	4600	1100	15

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Conhecimento do Edifício **BETÃO ARMADO**

Regulamento	Betão	Aço
Regulamento para o emprego do beton armado (1918)	$f_{cm} \geq 120 \text{ kgf/cm}^2$ ($\approx 12 \text{ MPa}$)	$f_{su} \geq 3800 \text{ kgf/cm}^2$ ($\approx 373 \text{ MPa}$) $f_{sy} \geq f_{su}/2$ $e_u = 22\%$
RBA (1935)	$f_{cm} \geq 180 \text{ kgf/cm}^2$ ($\approx 18 \text{ MPa}$)	$f_{su} \geq 3700 \text{ kgf/cm}^2$ ($\approx 363 \text{ MPa}$) $f_{sy} \geq 0.6 f_{su}$ $e_u = 24\%$
REBA (1967)	B180/225/300/350/400 $f_{ck} 180 - 400 \text{ Kg/cm}^2$ ($\approx 18 - 40 \text{ MPa}$)	A24/A40/A50/A60 liso ou nervurado $f_{syk} = 24/40/50/60 \text{ kgf/mm}^2$ $e_u = 22/14/8/8\%$
REBAP + RSA (1983)	B15/... B55 f_{ck} (MPa)	A235/A400/A500 $f_{syk} = 235/400/500 \text{ MPa}$ $e_u = 24/14/12\%$
EC2 – 1 (2004)	C12/15; ... C90/105 f_{ck} (MPa) cilíndrico/cubo $f_{ck,cilíndrico} \cong 0,8 f_{ck,cubo}$	S400/S500/S600 $f_{syk} = 400/500/600 \text{ MPa}$ $e_u \geq 7.5\%$

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017)

O Anexo Nacional do EC8-3 estabelece as exigências de desempenho em função da classe de importância do edifício:

NA.2.3 – Princípios e Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional

a) NA-2.1(2)P

Em Portugal os estados limite a verificar dependem da classe de importância do edifício. Para os edifícios pertencentes às classes de importância III e IV (ver 4.4.10(1) da presente Norma e 4.2.5(4)P da NP EN 1998-1:2010) devem ser verificados os seguintes estados limites (ver 2.1(1)P):

- estado limite de colapso iminente (NC);
- estado de limite de danos severos (SD);
- estado limite de limitação de dano (DL).

← Equivalente ao Estado Limite Último da EC8-1

Para os edifícios pertencentes às classes de importância I e II (ver 4.4.10(1) da presente Norma e 4.2.5(4)P da NP EN 1998-1:2010) deve ser verificado o estado limite de danos severos (SD) (ver 2.1(1)P).

NP EN 1998-3 2017. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios (EC8-3). Norma Portuguesa. NP EN 1998-3 2017. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017)

Os valores da aceleração máxima de referência a_{gR} a adotar para cada um dos três estados limites indicados são obtidos a partir dos valores de a_{gR} indicados no Quadro NA.I do Anexo Nacional da **NP EN 1998-1:2010** multiplicando-os pelos coeficientes:

Quadro NA.I – Coeficientes multiplicativos da ação sísmica de referência para obtenção da aceleração máxima de referência para aplicação da NP EN 1998-3

Estado limite	Ação sísmica Tipo 1	Ação sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
de colapso iminente (NC)	1,62	1,33	1,22
de danos severos (SD)	0,75	0,84	0,89
de limitação de dano (DL)	0,29	0,47	0,55

X 0,90

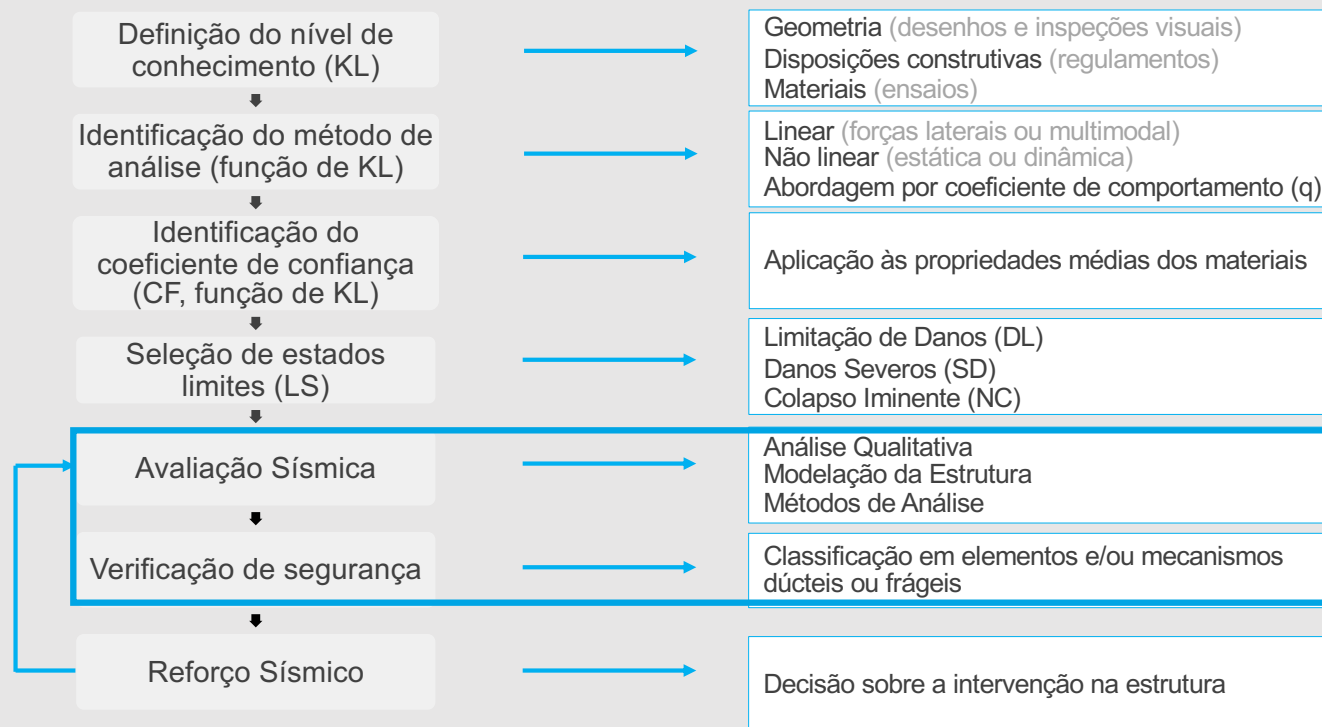
Decreto Lei nº
95/2019

Portaria nº
302/2019

NP EN 1998-3 2017. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios (EC8-3). Norma Portuguesa. NP EN 1998-3 2017. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017)



Comportamento GLOBAL do Edifício

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017)

Diferentes Abordagens para a Avaliação Sísmica detalhada – **Métodos de Análise**
(comportamento global):

Análises Lineares

Análises Estáticas Equivalentes (Método de análise por forças laterais)

Análises Dinâmicas Modais, por Espectros de Resposta (Análise modal por espectro de resposta)

Análises Não Lineares

Análises Estáticas Não-Lineares (*pushover*)

Análises Dinâmicas Não-Lineares (Análise (dinâmica) temporal não linear)

Abordagem por coeficientes de comportamento q

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017)

Critério de **aplicabilidade das análises lineares** para edifícios existentes de alvenaria:

NA.4.3d da NP EN 1998-3:2017:

Os métodos de análise simplificados baseados no comportamento elástico linear dos materiais para determinação dos efeitos da ação sísmica nas estruturas existentes devem ser utilizados com muita precaução, em particular nos casos em que as estruturas tenham um comportamento frágil ou, no caso de estruturas com ductilidade, quando não seja claro qual o mecanismo que se forma na estrutura para exploração da sua ductilidade disponível e não se conheça assim, à partida, a distribuição provável das plastificações.

NP EN 1998-3 2017. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios (EC8-3). Norma Portuguesa. NP EN 1998-3 2017. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

MÉTODOS DE ANÁLISE

4.4 Métodos de análise

4.4.1 Generalidades

(1) Os efeitos da ação sísmica, que devem ser combinados com os efeitos das outras cargas permanentes e variáveis de acordo com a combinação de ações sísmica definida em 4.2(4)P, poderão ser avaliados utilizando um dos seguintes métodos:

- análise por forças laterais (linear);
- análise modal por espectro de resposta (linear);
- análise estática não linear (*pushover*);
- análise dinâmica temporal não linear;
- abordagem por coeficiente de comportamento q .

(5) Os métodos de análise acima referidos são aplicáveis no âmbito das condições especificadas em 4.4.2 a 4.4.5, com exceção das estruturas de alvenaria para as quais é necessário utilizar métodos adequados às particularidades deste tipo de construção.

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

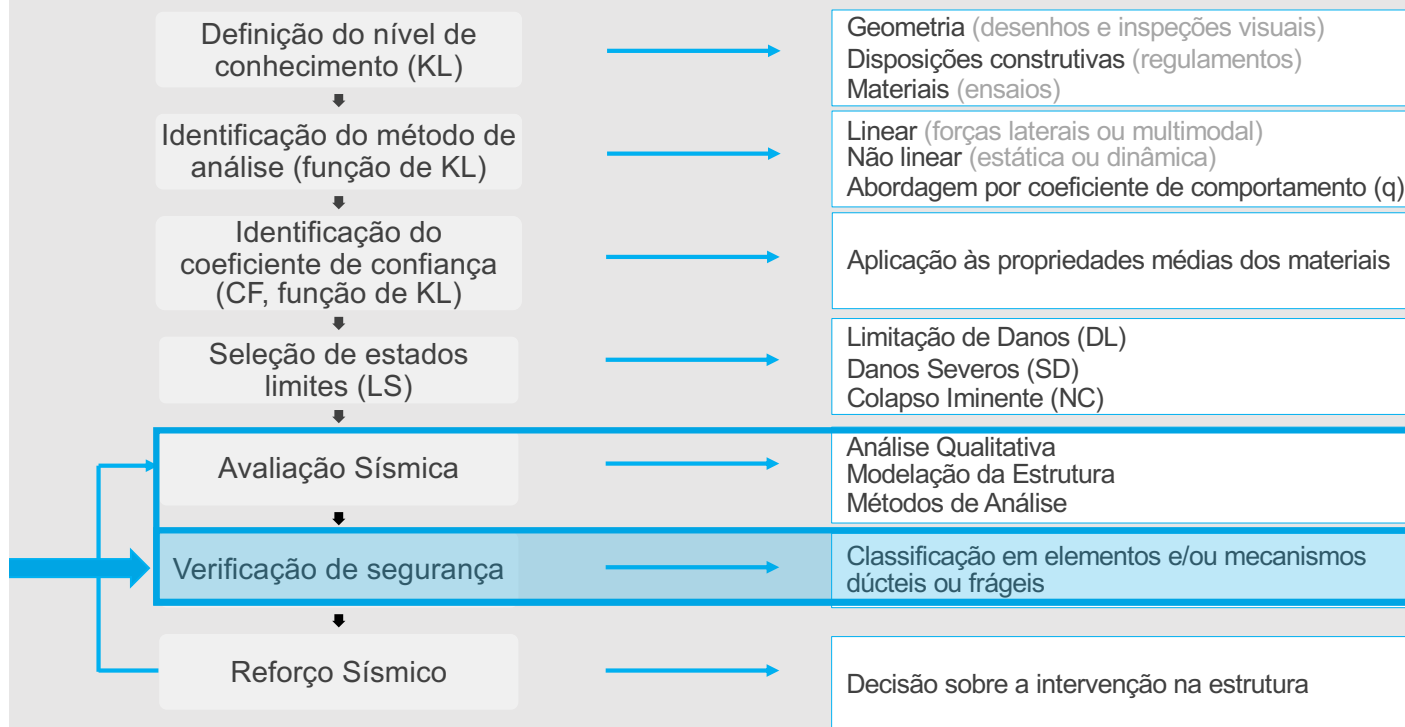
MODELAÇÃO DA ESTRUTURA

Lista de programas comerciais

Programa	País	Regulamento	Modelo	Endereço
AEDES PCM	Itália	Italiano	EF e MacroE	www.aedes.it
Por 2000	Itália	Italiano	MacroE	www.newsoft-eng.it/Por2000.htm
ANDILWall	Itália	Italiano	MacroE	www.crsoft.it/andilwall
CDMaWin	Itália	Italiano	EF e MacroE	www.stsweb.net/STSWeb/ITA/homepage.htm
Pro_SAM	Italiano	Eurocódigo/Italiano	MacroE	https://www.2si.it/en/pro_sam_eng/
3DMacro	Itália	Italiano	MacroE	http://www.3dmacro.it/
3Muri	Itália	Italiano	MacroE	www.stadata.com
Seismostruct	Itália	Eurocódigo/Italiano	EF e MacroE	https://seimosoft.com/product/seismostruct/
SAP2000	EUA	EUA/Eurocódigo	EF	http://www.csiportugal.com
ROBOT	EUA	EUA/Eurocódigo	EF	https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/
ABAQUS	França	?	EF	https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/
....

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

(NP EN 1998-3:2017)



Comportamento GLOBAL do Edifício

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

- Exceto na abordagem por coeficiente de comportamento, q , a verificação dos elementos estruturais deve assegurar que as exigências devido à ação sísmica não excedem as correspondentes capacidades. As capacidades devem ser avaliadas com base (EC8-3 2.2.1):
 - **Deformações** representativas dos danos – **mecanismos dúcteis (flexão)**
 - Estimativas conservativas da **resistência** – **mecanismos frágeis (corte)**
- A alternativa é usar uma **abordagem por coeficiente de comportamento**, reduzindo a ação sísmica por q . Nas verificações de segurança, todos os elementos estruturais devem ser verificados confirmando que as exigências devido à ação sísmica reduzida não excedem as respetivas capacidades, em **termos de resistência**. (EC8-3 2.2.1)
- No cálculo das capacidades dos elementos devem ser usados os valores médios das propriedades dos materiais tal como obtidos diretamente de ensaios “in situ” e fontes de informação adicionais, **divididos pelos coeficientes de confiança**, tendo em conta o **nível de conhecimento atingido** (EC8-3 2.2.1)

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

CRITÉRIOS DE CONFORMIDADE

EC8-3 §2.2.1

(5)P Para o cálculo das capacidades dos elementos dúcteis ou frágeis, quando estas serão objeto de uma comparação com as exigências devidas à ação sísmica nas verificações da segurança de acordo com (3)P e (4)P, devem ser utilizados os valores médios das propriedades dos materiais existentes tal como diretamente obtidos a partir de ensaios *in situ* e de fontes de informação adicionais e divididos pelos coeficientes de confiança adequados definidos em 3.5, tendo em conta o nível de conhecimento atingido. As propriedades nominais devem ser utilizadas para os materiais novos ou adicionais.

(6)P Certos elementos estruturais existentes poderão ser designados como elementos "sísmicos secundários", de acordo com as definições fornecidas em 4.2.2(1)P, (2) e (3) da EN 1998-1:2004. Os elementos "sísmicos secundários" devem ser verificados com os mesmos critérios de conformidade dos elementos sísmicos primários, embora utilizando estimativas da sua capacidade menos conservativas do que para os elementos considerados como "sísmicos primários".

(7)P No cálculo das capacidades de resistência dos elementos "sísmicos primários" frágeis, as resistências do material devem ser divididas pelo coeficiente parcial do material.

NOTA: Os valores a atribuir num determinado país aos coeficientes parciais do aço, do betão, do aço estrutural, da alvenaria e de outros materiais podem ser indicados no Anexo Nacional da presente Norma. As notas de 5.2.4(3), 6.1.3(1), 7.1.3(1) e 9.6(3) da EN 1998-1:2004 fazem referência aos valores dos coeficientes parciais do aço, do betão, do aço estrutural e da alvenaria destinados a serem utilizados no projeto de novos edifícios num dado país.

EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

RESUMO DOS CRITÉRIOS PARA A ANÁLISE E AS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA

EC8-3, §4.6

As exigências relativas aos elementos tanto **dúcteis** como **frágeis** devem ser as obtidas a partir da análise efetuada, utilizando os valores médios das propriedades dos materiais.

Para definir as propriedades dos materiais existentes a utilizar no cálculo da **capacidade dos elementos dúcteis**, utilizam-se os valores médios dessas propriedades divididos pelo Coefficiente de Confiança, CF. Para **elementos frágeis**, utilizam-se os valores médios dessas propriedades divididos pelo Coefficiente de Confiança, e coeficiente Parcial

	Modelo linear (LM)		Modelo não linear		Abordagem por coeficiente de comportamento q	
	Exigência	Capacidade	Exigência	Capacidade	Exigência	Capacidade
Tipo de elemento ou mecanismo (e/m)	Dúctil	<p>Aceitabilidade do modelo linear (para a verificação dos valores da relação $\rho_i = D_i/C_i$):</p> <p>A partir da análise. Utilizar os valores médios das propriedades no modelo.</p>	<p>Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades.</p>	<p>Em termos de deformação. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF.</p>	<p>A partir da análise.</p>	<p>Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF.</p>
	Frágil	<p>Verificações (se aceite o modelo linear LM):</p> <p>Se $\rho_i \leq 1$: a partir da análise.</p> <p>Se $\rho_i > 1$: a partir do equilíbrio introduzindo a resistência dos e/m dúcteis. Utilizar os valores médios das propriedades <u>multiplicados</u> pelos coeficientes de confiança CF.</p>	<p>Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF e pelo coeficiente parcial.</p>	<p>A partir da análise. Utilizar os valores médios das propriedades no modelo.</p> <p>Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF e pelo coeficiente parcial.</p>	<p>De acordo com a secção aplicável da EN 1998-1: 2004.</p>	<p>Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF e pelo coeficiente parcial.</p>

ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Legislação Nacional
- Classificação, caracterização de edifícios antigos da cidade de Lisboa
- Métodos Expeditos
- Passos essenciais para a avaliação sísmica adequada de edifícios existentes - Parte 3 do Eurocódigo 8
- **Relatório de Avaliação de Vulnerabilidade Sísmica**
- Comentários Finais | Discussão

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE SÍSMICA (RAVS)

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE SÍSMICA (RAVS)

ÍNDICE

Parte I – Caracterização, Inspeção e diagnóstico da construção existente	2
I.1. Levantamento e análise da informação existente	2
I.2. Caracterização geométrica da estrutura	2
I.3. Caracterização mecânica dos materiais e dos elementos estruturais	2
I.4. Tipo de terreno.....	2
I.5. Caracterização das anomalias estruturais.....	2
Parte II – Avaliação da segurança estrutural do edifício.....	2
II. 1. Avaliação da vulnerabilidade sísmica - NP EN 1998-3:2017	3
II.1.1. Definições de base para a avaliação.....	3
II.1.2. Avaliação da segurança estrutural	3
II. 2. Avaliação da vulnerabilidade sísmica – Métodos Expeditos	3
II.2.1. Aplicabilidade do método expedito	3
II.2.2. Avaliação da segurança estrutural	3
Parte III – Conclusões	4

ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Legislação Nacional
- Classificação, caracterização de edifícios antigos da cidade de Lisboa
- Métodos Expeditos
- Passos essenciais para a avaliação sísmica adequada de edifícios existentes - Parte 3 do Eurocódigo 8
- Relatório de Avaliação de Vulnerabilidade Sísmica
- **Comentários Finais | Discussão**

COMENTÁRIOS FINAIS | DISCUSSÃO

COMENTÁRIOS FINAIS | DISCUSSÃO

WEBINARS - 2ª GERAÇÃO EUROCÓDIGO 8



<https://ec8webinars.org/news/>

JORNADAS ReSist

LISBOA RESILIENTE AOS SISMOS
CICLO DE FORMAÇÃO

Lições Professor João Appleton

28 setembro
'22

Quando e como realizar o
relatório de avaliação da
vulnerabilidade sísmica?

MUITO OBRIGADA!

RITA BENTO

Organização:



Com o apoio
de:



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



ORDEM DOS
ENGENHEIROS
TÉCNICOS



SOCIEDADE
PORTUGUESA DE
ENGENHARIA
SÍSMICA



Sociedade
Portuguesa
de Geotecnia