

Jornada Técnica sobre Novos Processos Construtivos

Avaliação da vulnerabilidade sísmica: Enquadramento legal atual e perspetivas de futuro

João M.C. Estêvão

Professor Coordenador
Instituto Superior de Engenharia
Universidade do Algarve

<https://sites.google.com/view/jestevao>

jestevao@ualg.pt

Reabilitação sísmica de escolas

Foi um longo caminho para chegar até aqui...

Modernização dos estabelecimentos públicos de ensino
dos 2.º e 3.º ciclos e do secundário

5. Condições específicas de acesso

«Deverão, ainda, demonstrar o cumprimento do normativo técnico legal relativo aos **estudos de vulnerabilidade sísmica** (Portaria n.º 302/2019, de 12 de setembro) e à revisão do projeto.»

15 de setembro de 2025



A ideia na base da atual Portaria n.º 302/2019

A proposta inicial que deu início ao debate académico...

Raimundo Delgado e Aníbal Costa

Sismos recentes e lições para Portugal:

Uma proposta para a certificação do comportamento sísmico das construções.

**8º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica,
Aveiro, 2010**

Originou uma reunião em Aveiro no dia 11 de Dezembro de 2011, já enquadrada no contexto da
“Resolução da Assembleia da República nº 102/2010”

Podemos certificar o risco sísmico?

A opinião que expressei nesse congresso, que se mantém a mesma...

- ✓ - **Certificação do projeto sísmico**
Sim, pois conseguimos verificar o grau de cumprimento de um determinado regulamento.
- ✓ - **Certificação da qualidade da construção**
Sim, pois conseguimos verificar o grau de cumprimento de um determinado projeto durante a realização da construção, embora seja mais difícil de realizar.
- ✗ - **Certificação do comportamento sísmico**
Não, pois isso depende do real comportamento estrutural, e também da real perigosidade sísmica do local, que dependem de muitos fatores que ainda não conhecemos inteiramente, ou que iriam exigir métodos de análise ainda impraticáveis em larga escala, mesmo atualmente.

Os efeitos dos sismos da Turquia de 2023 são uma prova disso!

E depois o trabalho da SPES...

Foi dada continuidade à ideia pelos membros da direção

Em 2014, foi eleita uma nova direção da SPES com membros representantes de todas as regiões:

Programa de ação

1.- Certificação Sísmica

- Contratação de um doutorado, através da criação de uma bolsa de investigação, para trabalhar na elaboração de um documento que possibilite a viabilização de uma certificação sísmica credível

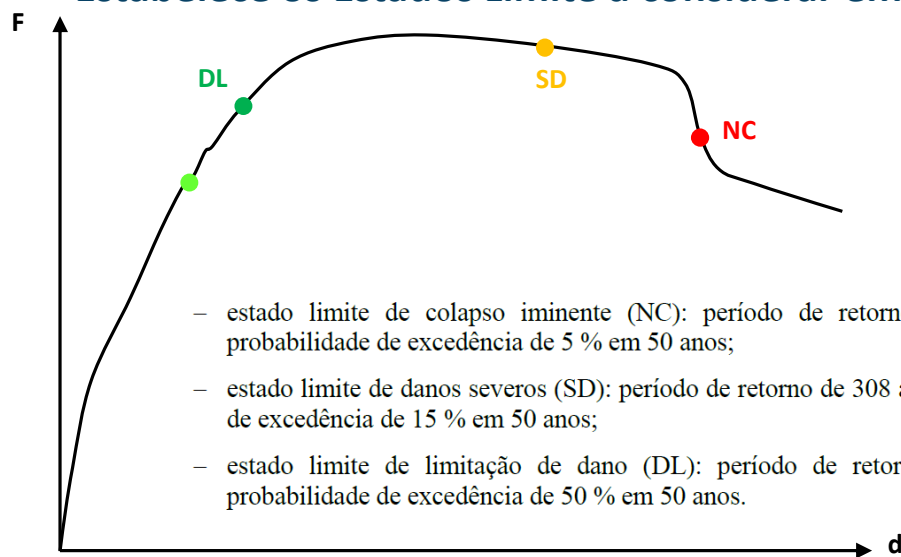
Aníbal Costa, João Azevedo, Ema Coelho, Francisco Fernandes, Luís Guerreiro, Alexandra Carvalho, Luís Matias, Daniel Oliveira, Xavier Romão e João Estêvão

Certificação sísmica das construções e perigosidade sísmica em Portugal.

10º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Ponta Delgada, Açores, 2016

É publicada a NP EN 1998-3:2017

Estabelece os Estados Limite a considerar em edifícios existentes



- estado limite de colapso iminente (NC): período de retorno de 975 anos correspondente a uma probabilidade de excedência de 5 % em 50 anos;
- estado limite de danos severos (SD): período de retorno de 308 anos correspondente a uma probabilidade de excedência de 15 % em 50 anos;
- estado limite de limitação de dano (DL): período de retorno de 73 anos correspondente a uma probabilidade de excedência de 50 % em 50 anos.

O anexo nacional da EN 1998-3 foi produzido por um outro grupo de trabalho.

É publicada a NP EN 1998-3:2017

Estabelece os Estados Limite a considerar em edifícios existentes

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

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): DL, SD e NC.

} Escolas

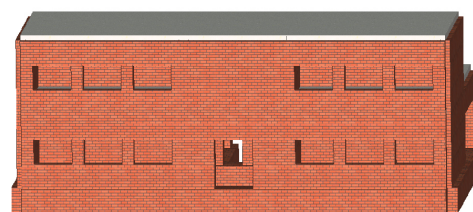
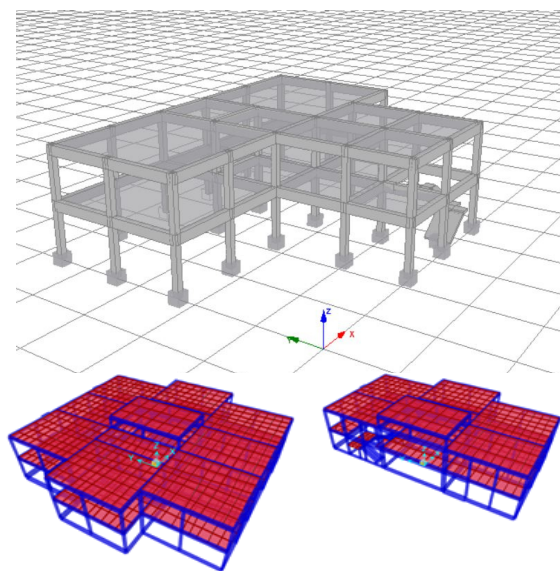
Para os edifícios pertencentes às classes de importância I e II (ver 4.4.10(1) da presente Norma e 4.2.5(4)P da NP EN 1998-1:2010) deve ser verificado o estado limite de danos severos (SD) (ver 2.1(1)P).

Não foi realizado novo estudo de perigosidade sísmica, e foi usada uma expressão muito simplificada.

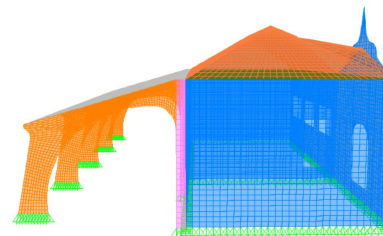
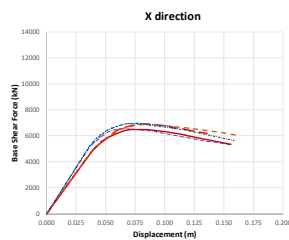
$$\sim \left(\frac{T_{R,ref}}{T_R} \right)^{-\frac{1}{k}} \quad \left(\frac{475}{73} \right)^{-\frac{1}{2.5}} = 0.4728 \quad \left(\frac{475}{308} \right)^{-\frac{1}{2.5}} = 0.8409 \quad \left(\frac{475}{975} \right)^{-\frac{1}{2.5}} = 1.3333$$

O projeto PERSISTAH (2017 a 2020)

Demonstrou a aplicação da NP EN 1998-3:2017 em larga escala



Aplicação a escolas do Algarve e Andaluzia.
Coordenado por:
João Estêvão (UAlg)



João M.C. Estêvão - 2026/03/19

E da parceria da SPES com o LNEC...

Título

METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SÍSMICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES
BASEADA EM ANÁLISES DE FIABILIDADE ESTRUTURAL
Edifícios de betão armado

Autoria

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

Romain Ribeiro de Sousa

Bolsheiro de Investigação, Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas

Alfredo Campos Costa

Investigador Principal, Chefe do Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas

UNIVERSIDADE DE AVEIRO

Anibal Costa

Professor Catedrático, RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Colaboração

SOCIEDADE PORTUGUESA DE ENGENHARIA SÍSMICA (SPES)

João Azevedo

Luis Guerreiro

Xavier Romão

João Estêvão

Daniel Oliveira

Francisco Fernandes

Este estudo resulta de uma iniciativa da Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica (SPES) à qual o LNEC deu total apoio tendo sido realizado ao abrigo do *Protocolo de Colaboração no âmbito do Estudo de Procedimentos para Certificação Sísmica de Edifícios Existentes*, de 2014, de cooperação entre ambas as instituições.

LNEC

José Manuel Catarino

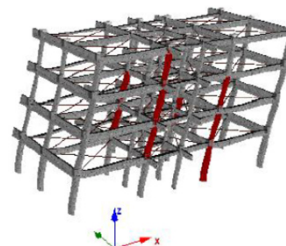
Manuel Pípa

Paulo Candeias

António Correia

Propõe 4 métodos de análise, como suporte ao ponto 4 do artigo 1.º da Portaria n.º 302/2019.

RELATÓRIO 81/2019 – DE/NESDE
Versão revista, outubro 2019



Análises não lineares realizadas com o programa SeismoStruct permitiram depois criar abordagens simplificadas de avaliação.

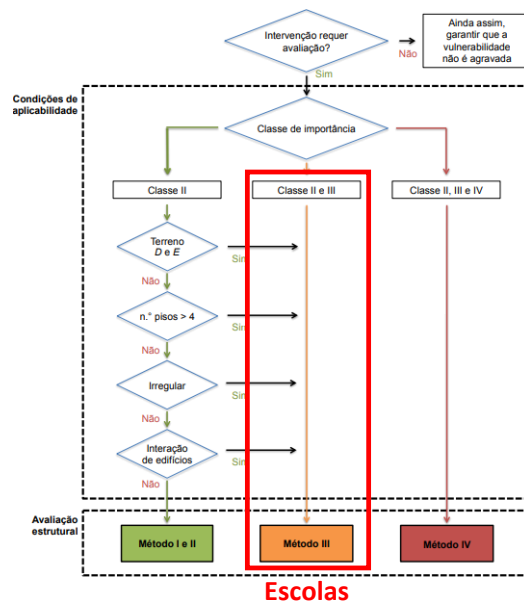
% Ação sísmica regulamentada	< 67 %	D
	67 %	C
	≥ 85 %	B
	≥ 100 %	A

Foi abandonada a ideia de certificação sísmica

João M.C. Estêvão - 2026/03/19

Métodos de avaliação propostos

Portaria n.º 302/2019 → Guião LNEC → NP EN 1998-3:2017 (Método III)



Decreto-Lei n.º 95/2019

Artigo 16.º

Aplicação dos eurocódigos estruturais

As condições para a aplicação dos Eurocódigos Estruturais aos projetos de estruturas de edifícios são definidas por despacho do membro do Governo responsável pela área da construção.

Artigo 18.º

Norma revogatória

- 1 — É revogado o Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril, na sua redação atual.
- 2 — São revogados os seguintes regulamentos:

- a) Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de maio, no que diz respeito à aplicação a estruturas para edifícios;
- b) Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 349-C/83, de 30 de julho, no que diz respeito à aplicação a estruturas de betão para edifícios;
- c) Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 211/86, de 31 de julho;
- d) Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos, aprovado pelo Decreto n.º 41658, de 31 de maio de 1958.

Despacho Normativo n.º 21/2019

Artigo 1.º

Objeto

São aprovadas as condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais nos projetos de estruturas de edifícios.

Artigo 2.º

Projetos de estruturas para edifícios

Na elaboração dos projetos de estruturas para edifícios devem ser cumpridas as normas definidas no anexo I ao presente despacho normativo.

Artigo 3.º

Projetos de estruturas de betão para edifícios

Na elaboração dos projetos de estruturas de betão para edifícios devem ser cumpridas, para além das normas indicadas no artigo 2.º, as normas definidas no anexo II ao presente despacho normativo.

Despacho Normativo n.º 21/2019

ANEXO I

Normas a observar na elaboração dos projetos de estruturas para edifícios

(a que se refere o artigo 2.º)

- a) NP EN 1990:2009 — Eurocódigo — Bases para o projeto de estruturas;
- b) NP EN 1991-1-1:2009 — Eurocódigo 1 — Ações em estruturas — Parte 1-1: Ações gerais — Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios;
- c) NP EN 1991-1-2:2010 — Eurocódigo 1 — Ações em estruturas — Parte 1-2: Ações gerais — Ações em estruturas expostas ao fogo;
- d) NP EN 1991-1-3:2009 — Eurocódigo 1 — Ações em estruturas — Parte 1-3: Ações gerais — Ações da neve;
- e) NP EN 1991-1-4:2010 — Eurocódigo 1 — Ações em estruturas — Parte 1-4: Ações gerais — Ações do vento;
- f) NP EN 1991-1-5:2009 — Eurocódigo 1 — Ações em estruturas — Parte 1-5: Ações gerais — Ações térmicas;
- g) NP EN 1997-1:2010 — Eurocódigo 7 — Projeto geotécnico — Parte 1: Regras gerais;
- h) NP EN 1998-1:2010 — Eurocódigo 8 — Projeto de estruturas para resistência aos sismos — Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios;
- i) NP EN 1998-3:2017 — Eurocódigo 8 — Projeto de estruturas para resistência aos sismos — Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios;
- j) NP EN 1998-5:2010 — Eurocódigo 8 — Projeto de estruturas para resistência aos sismos — Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspetos geotécnicos.

Portaria n.º 302/2019

Artigo 1.º

Análise da vulnerabilidade sísmica

1 — Estão sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica do edifício que estabeleça a sua capacidade de resistência relativamente à ação sísmica definida na NP EN1998-3:2017 e suas posteriores atualizações para as condições do local, as obras de ampliação, alteração ou reconstrução, sempre que se verifique uma das seguintes condições:

- a) Existência de sinais evidentes de degradação da estrutura do edifício;
- b) Procedam ou tenham por efeito uma alteração do comportamento estrutural do edifício;
- c) Cujas áreas intervencionadas, incluindo demolições e ampliações, exceda os 25 % da área bruta de construção do edifício;
- d) Cujos custos de construção exceda em pelo menos 25 % do custo de construção nova de edifício equivalente.

2 — O relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício é ainda obrigatório, no caso de edifícios das classes de importância III ou IV, definidas nos termos da norma NP EN 1998-1:2010, sempre que se verifique alguma das situações previstas no número anterior, com redução para 15 % dos limites estabelecidos nas alíneas c) e d).

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.

4 — Compete ao LNEC a publicação ou aprovação de disposições construtivas ou métodos de análise expedita da vulnerabilidade sísmica que apoiem a elaboração do relatório previsto no n.º 1 do presente artigo, para tipologias de edifícios, localizações e tipos de intervenção específicos.

Escolas

Portaria n.º 255/2023

Artigo 1.º. Definições (obras públicas)

w) «Projeto de ampliação», o projeto com base numa construção existente que visa ampliar a capacidade de utilização, com o correspondente aumento da área de implantação, área de construção, altura da fachada ou do volume da obra;

x) «Projeto de demolição», o projeto de desconstrução ou demolição seletiva de uma construção existente, que visa a sua total ou parcial destruição, de modo a possibilitar a máxima recuperação de materiais e componentes da construção, provendo deste modo a sua reutilização e reciclagem;

z) «Projeto de reabilitação», o projeto com base numa construção existente, que tem por objetivo fundamental repor, melhorar, ou adequar a novas exigências as suas condições de funcionamento;

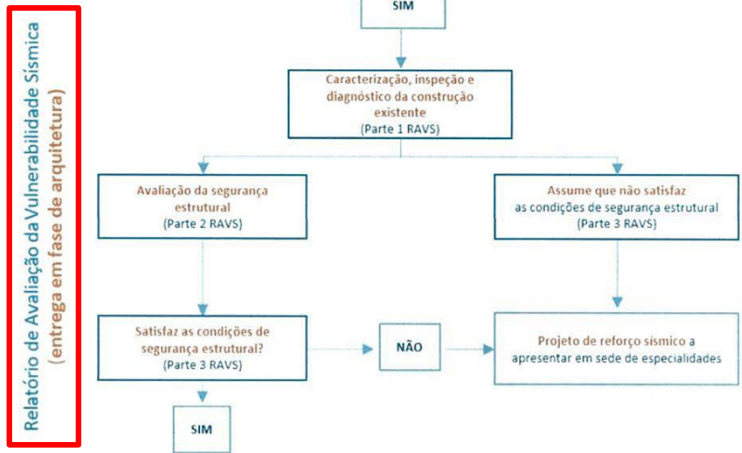
aa) «Projeto de reforço», o projeto com base numa construção existente, que visa conferir-lhe maior capacidade resistente;

bb) «Projeto de remodelação», o projeto com base numa construção existente, tendo em vista introduzir quaisquer alterações incluindo as mudanças de utilização;

É importante termos em conta estas diferenças.

Como elaborar o relatório?

O Programa ReSist, da
Câmara Municipal (CM)
de Lisboa.



Decreto-Lei n.º 10/2024

Responsabilidade legal: o autor do relatório!

Artigo 9.º

Alteração ao regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas

O artigo 8.º do Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho, passa a ter a seguinte redação:

«Artigo 8.º

[...]

1 — [...]

2 — [...]

3 — A portaria referida no n.º 1 não pode conferir poderes às câmaras municipais para apreciação do relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica.»

E quando as CM são o dono de obra?

E as exigências da NP EN 1998-3:2017?

Etapas necessárias à aplicação do método III (NP EN 1998-3:2017)

1. Recolha de informação

- documentação disponível específica do edifício em questão;
- fontes de dados genéricos relevantes (p.ex., códigos e normas da construção contemporâneos);
- trabalhos de campo;
- **na maior parte dos casos**, medições e ensaios in situ e/ou em laboratório.



E as exigências da NP EN 1998-3:2017?

Etapas necessárias à aplicação do método III (NP EN 1998-3:2017)

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		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 q)	CF _{KL1}
KL2	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		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}

Do ponto de vista legal, é difícil justificar a realização de uma análise não linear sem a realização de ensaios *in situ*.

**Estão a ser realizados esses ensaios, quando o relatório não dispõe de um mecanismo formal de aprovação?
E quando as CM são o dono de obra?**

Quadro 3.2 – Requisitos mínimos recomendados para diferentes níveis de inspeção e de ensaio

Nível de inspeção e de ensaio	Inspeção (das disposições construtivas)	Ensaio (dos materiais)
	Para cada tipo de elemento primário (viga, pilar, parede):	
	Percentagem de elementos cujas disposições construtivas têm que ser verificadas	
Limitado	20	1
Alargado	50	2
Completo	80	3

NOTA: Os valores a atribuir aos coeficientes de confiança num determinado país poderão ser indicados no respetivo Anexo Nacional. Os valores recomendados são CF_{KL1} = 1,35, CF_{KL2} = 1,20 e CF_{KL3} = 1,00.

E as exigências da NP EN 1998-3:2017?

Etapas necessárias à aplicação do método III (NP EN 1998-3:2017)

2. Seleção do método de análise

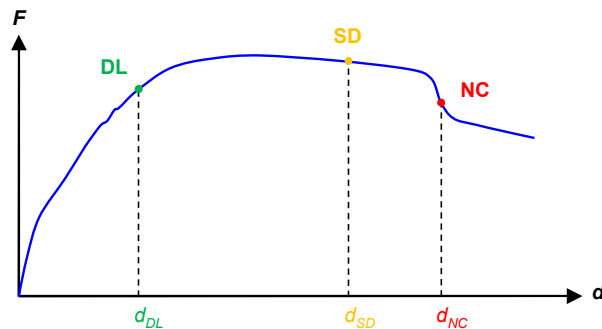
- análise por forças laterais (linear);
- análise modal por espectro de resposta (linear);
- **análise estática não linear (pushover);**
- análise dinâmica temporal não linear;
- abordagem por coeficiente de comportamento q .

Esta escolha depende do nível de conhecimento e das características da estrutura.

E as exigências da NP EN 1998-3:2017?

Etapas necessárias à aplicação do método III (NP EN 1998-3:2017)

3. Verificação dos estados limites



Para cada curva de capacidade e Estado Limite, é necessário comparar o nível de exigência (D) com a capacidade (C), normalmente em termos de deslocamentos.

E as exigências da NP EN 1998-3:2017?

Análises lineares

1. Executa-se análise linear (forças laterais ou modal)
2. Determina-se a exigência (D): os esforços nos elementos com $S_{e(T)}$ (se for usada a abordagem com q, que pressupõe justificação da ductilidade disponível, então será usado o $S_{d(T)}$ para SD e NC)
3. Identificam-se elementos/mecanismos frágeis:
 - Corte em vigas
 - Corte em pilares
 - Nós entre elementos estruturais
 - Corte em paredes
4. Calcula-se a capacidade (C) local com propriedades médias: $C_i = \frac{C_{i,m}}{CF}$
5. Verifica-se se existem $\rho_i = \frac{D_i}{C_i} > 1$

Caso seja necessário o reforço, neste contexto tal é aplicado a todos os elementos estruturais com $\rho_i > 1$, mas garantido que o comportamento final é dúctil.

NA-4.4.2(1)(P)

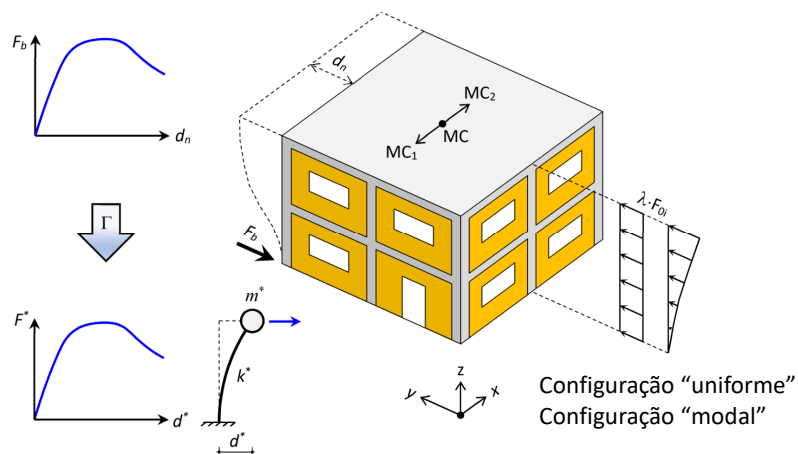
Só podem ser usadas análises lineares quando o comportamento sísmico é homogéneo:

$$\frac{\rho_{max}}{\rho_{min}} \leq 3$$

ρ_{max} e ρ_{min} são determinados a partir de todos os $\rho_i > 1$

E as exigências da NP EN 1998-3:2017?

Análises estáticas não lineares (pushover)



2 padrões de forças
 2 sentidos (+ e -)
 2 direções
 3 centros de massa
 $2 \times 2 \times 2 \times 3 = 24$
 Curvas de capacidade por
 cada edifício

Para cada curva de
 capacidade, verificar se

$$\frac{d_{D,LS}}{d_{C,LS}} \leq 1$$

Estêvão, João M. C.; Carlos Esteves. "Nonlinear seismic analysis of existing RC school buildings: the "P3" school typology". Buildings 10 11 (2020): 210. <https://doi.org/10.3390/buildings10110210>

De acordo com a Portaria n.º 302/2019

Etapa final do relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica

4. Possíveis conclusões finais do relatório

- a estrutura satisfaz as exigências de segurança sísmica:
 $\frac{D}{c} \leq 1$ → Projeto de reabilitação
- a estrutura não satisfaz as exigências de segurança sísmica, mas não tem de ser reforçada (porque satisfaz para 90% da exigência sísmica definida na NP EN 1998-3:2017):
 $\frac{D}{c} > 1$ mas $\frac{0.9D}{c} \leq 1$ → Projeto de reabilitação (reforço opcional)
- a estrutura não satisfaz as exigências de segurança sísmica, e tem de ser reforçada (porque não satisfaz para 90% da ação sísmica definida na NP EN 1998-3:2017):
 $\frac{0.9D}{c} > 1$ → Projeto de reforço

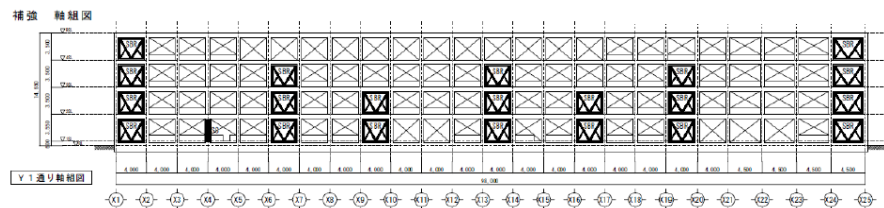
Para cada corpo de um edifício com comportamento dinâmico independente.

Reforço sísmico

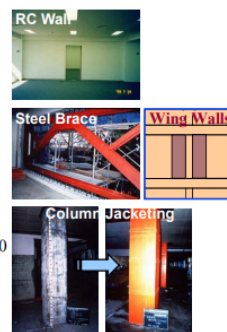
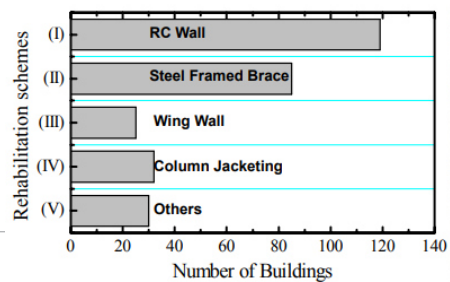
Soluções usuais de reforço sísmico de escolas no Japão

Program Implementation and the Role Played by Local Governments

Reinforced Framing Evaluation



The World Bank (2016)



Yoshiaki Nakano (2004)

Reforço sísmico (para 100% da ação da NP EN 1998-3)

Exemplo de escolas de betão armado (projeto PERSISTAH)



Giovanni Plizzari

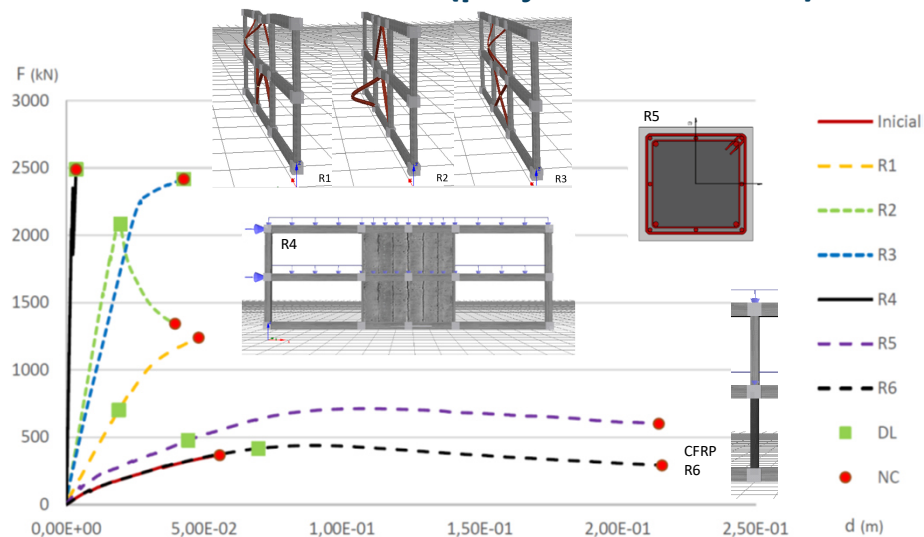
Contraventamentos



México (1985)
James Jirsa

SikaWrap® -170C Mesh

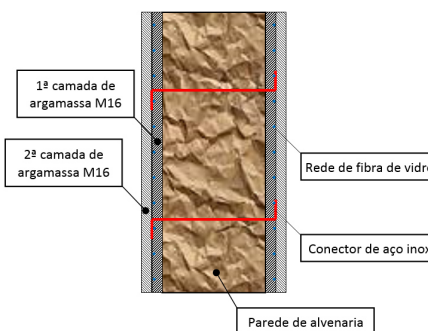
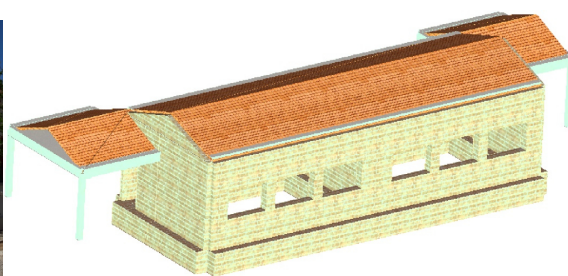
Encamisamentos



Bruno Tomás; Estêvão, João M. C.. "Comparação da eficácia de algumas soluções de reforço sísmico de escolas de betão armado". Construção Magazine 102 (2021): 4-7.

Reforço sísmico (para 100% da ação da NP EN 1998-3)

Exemplo de escolas de alvenaria tradicional (projeto PERSISTAH)



Avaliação global do desempenho sísmico

Estados limites	Direção X (%)	Direção Y (%)	Limites da NP EN 1998-3:2017 (%)
DL	64.787	39.117	29
SD	79.867	53.818	75
NC	90.058	61.517	162

Estêvão, João M. C.; Bruno Tomás; Roberto Laranja; Alfredo Braga. 2019. "Seismic retrofitting of an existing masonry school building: a case study in Algarve". In *CIAC-2019: International Conference on Automation Innovation in Construction, Leiria, Portugal*. Springer.

A real eficácia do reforço sísmico

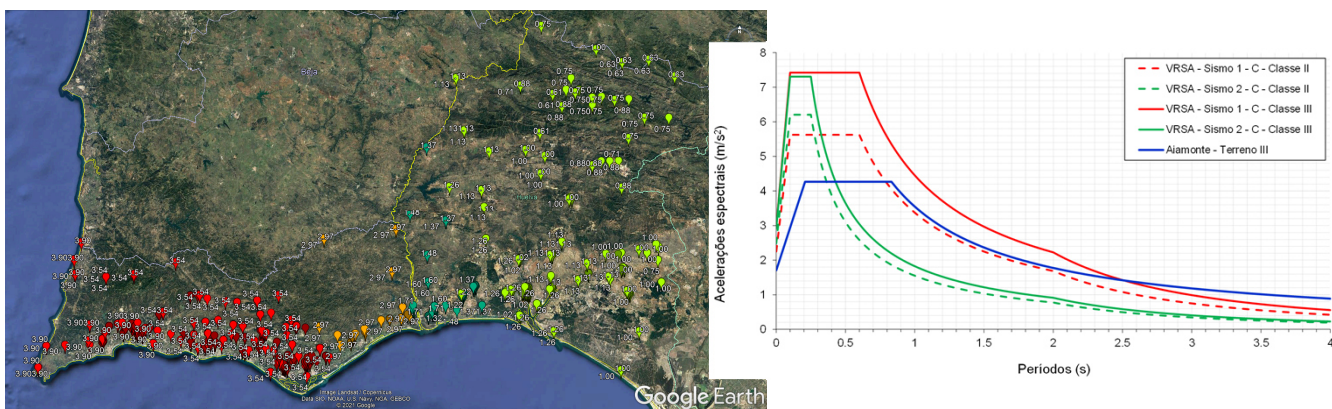
Comportamento sísmico de escolas: 2011 Tohoku, Japão, M=9



K-elementary em Koriyama - Kabeyasawa (2015)

O problema das zonas transfronteiriças

O que o projeto PERSISTAH mostrou...

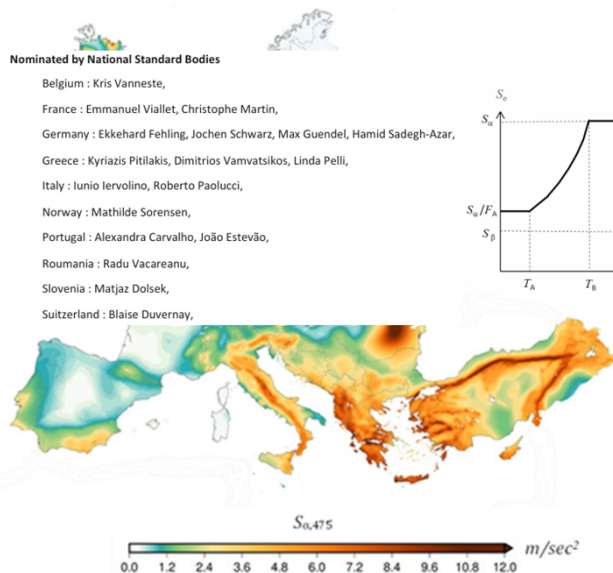


Escolas que em Vila Real de Santo António teriam de ser reforçadas, em Aiamonte já não!

Estêvão, João M. C.; Antonio Morales Esteban; Carlos Sousa Oliveira. "Segurança sísmica das escolas do primeiro ciclo do ensino básico: Algarve versus Huelva". Trabalho apresentado em CONREA'21 - O Congresso da Reabilitação, Aveiro, 2021.

E o que nos trará o futuro?

CEN/TC250/SC8/AHG2 (2021) – A tentativa de harmonização...



All second generation EN Eurocodes will have a Date of withdrawal (DoW) of **30 March 2028**. DoW is the latest date by which national standards conflicting with the EN (i.e. in this case first generation Eurocode parts) have to be withdrawn.

<https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/second-generation-eurocodes>

Logo, a NP EN 1998-3:2017 irá ser revista até essa data.

Anexo A da nova EN 1998-1-1 (informativo)

Mapa Europeu de Perigosidade Sísmica

Baseado no estudo ESHM20, apresenta uma diminuição significativa da perigosidade sísmica do Algarve.

E o que nos trará o futuro?

As novas EN 1998-3 e EN 1998-1-2

EN 1998-3: 4.1

(3) O desempenho sísmico da estrutura deve ser verificado para o conjunto completo ou para um subconjunto dos quatro **Estados Limite (OP, DL, SD e NC)**; como requisito mínimo, deve ser verificado o **Estado Limite de Colapso Iminente (NC)**, salvo se for aplicada a disposição (4).

EN 1998-1-2: 4.2

Table 4.3 (NDP) – Return period $T_{LS,CC}$ values, in years, for buildings

Limit state	Consequence class			
	CC1	CC2	CC3-a	CC3-b
NC	600	1600	2500	5000
SD	275	475	600	900
DL	100	115	125	140

Escolas

E o que nos trará o futuro?

As novas EN 1998-3 e EN 1998-1-1

EN 1998-3: 4.1

(4) Na aplicação da EN 1998-1-1, 6.1(4), nos casos de **classe de ação sísmica baixa e moderada** (conforme definido na EN 1998-1-1, 4.1(4)), o desempenho sísmico das estruturas pode ser verificado por meio da **abordagem baseada nas forças**, utilizando os valores de q indicados em 6.3.1(1) e a ação sísmica correspondente ao **Estado Limite de Danos Severos (SD)**.

EN 1998-1-2: 4.1

$$S_{\delta} = \delta F_{\alpha} F_T S_{\alpha,475}$$

Table 4.1 – Range of S_{δ} values to define seismic action classes

Seismic action class	Range of seismic action index
Very low	$S_{\delta} < 1,30 \text{ m/s}^2$
Low	$1,30 \text{ m/s}^2 \leq S_{\delta} < 3,25 \text{ m/s}^2$
Moderate	$3,25 \text{ m/s}^2 \leq S_{\delta} < 6,50 \text{ m/s}^2$
High	$S_{\delta} \geq 6,50 \text{ m/s}^2$

NOTA: A abordagem baseada nas forças assenta no comportamento dúctil global e na capacidade de redistribuição da estrutura. A sua aplicação a estruturas existentes é, portanto, aproximada, podendo apenas ser utilizados valores reduzidos de q , correspondentes à sobrerresistência dos elementos estruturais. Consequentemente, o método é conservador. Se o resultado da verificação for negativo, tal poderá dever-se a esse conservadorismo e não necessariamente a um défice real da estrutura. O estado da estrutura pode ser reavaliado através de uma abordagem mais rigorosa baseada nos deslocamentos, com vista à calibração do projeto de reforço.

Isto poderá facilitar a realização da avaliação da vulnerabilidade sísmica, mas eventualmente não para todas as regiões, tipos de edifícios e terrenos de fundação.

Consequências da falta de reforço sísmico

Sismo de Molise 2002 (Itália), M=5.7

O colapso causou a morte a 27 crianças e 1 professor.

Edifício de alvenaria com laje de betão armado com um novo andar.



5 pessoas foram condenadas a penas de prisão: o projetista, o diretor de obra, o construtor, um técnico da câmara, e até o presidente da câmara, que perdeu a filha no colapso...

Nova escola Francesco Jovine, após o sismo



Alessandro Martelli and Massimo Forni (2010)

Em 2008, foi considerada a escola mais segura de Itália.

A avaliação e o reforço sísmico não são uma mera questão legal, são uma necessidade das populações!

O que podemos concluir?

1. A avaliação é baseada em desempenho, não em garantias

- **Verificação face a ação normativa** (cuja calibração depende do conhecimento científico disponível, com poucos registos instrumentais intensos, mas com forte evidência histórica de destruição em eventos como o de 1755)
- **Não constitui uma certificação do comportamento real em sismo futuro**

2. A responsabilidade técnica é central

- O relatório é um ato técnico com responsabilidade profissional.
- Exige uma caracterização adequada da estrutura
- Exige coerência metodológica

**A engenharia sísmica não elimina a incerteza.
O que faz é tratá-la com rigor e responsabilidade.**