

# Análise dos deslocamentos devido a acção sísmica

Luis Moura

7 Abril 2018

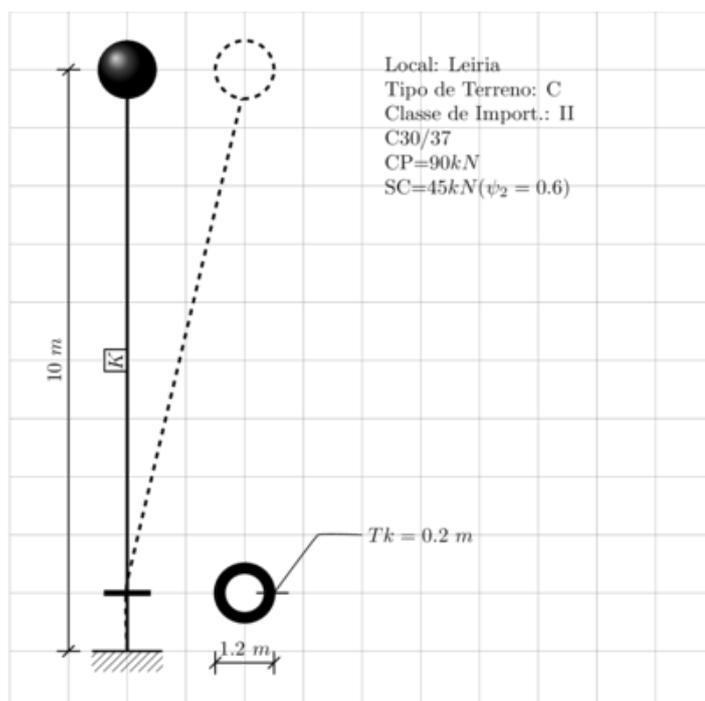
Exemplo do processo de cálculo através do espectro de resposta, e devido à acção sísmica regulamentar, dos valores de deslocamento de uma estrutura em Leiria.

<b>1 Estrutura</b>	<b>1</b>
<b>2 Frequência Própria e Período</b>	<b>2</b>
2.1 Massa . . . . .	2
2.2 Rigidez . . . . .	2
2.3 Frequência . . . . .	2
2.4 Período . . . . .	2
<b>3 Parâmetros pelo Eurocódigo 8</b>	<b>2</b>
3.1 Espectro de cálculo para a análise elástica, $S_d(T)$ . . . . .	3
<b>4 Esforços e Deslocamentos</b>	<b>4</b>
4.1 Sismo Tipo 1 . . . . .	4
4.2 Sismo Tipo 2 . . . . .	4
<b>5 Resultados</b>	<b>5</b>

## 1 Estrutura

Estrutura simples<sup>1</sup>, em betão C30/37, e com 10 metros de altura, localizada no concelho de Leiria. A Classe de Importância é II e encontra-se localizada em um terreno tipo C. Tem um peso próprio de 90 kN e uma sobrecarga de 45 kN com um respectivo  $\psi_2 = 0.6$ .

Na tabela 1, encontra-se sumariado as condições iniciais, assim como na seguinte figura:



<sup>1</sup> A análise dos parâmetros do espectro de resposta para uma estrutura em Leiria, foi previamente feita no trabalho "Espectro de Resposta para prédio localizado em Leiria".

Figura 1: Diagrama da estrutura em análise, na cidade de Leiria

**NOTA:** Serviu de base para este processo de cálculo, o trabalho do Professor João Veludo [Veludo, 2019], da ESTG em Leiria.

Tabela 1: Condições iniciais em análise

Nome	Descrição
Localização	Leiria
Tipo de Terreno	C
Classe de Importância	II
Betão	C30/37
Carga Própria (CP)	90 kN
Sobre-Carga (SC)	45 kN

Terreno Tipo C : “Depósitos profundos de areia compacta ou mediamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.”

–Quadro 3.1 - Tipos de Terreno, Eurocódigo 8 [Instituto Português de Qualidade LNEC, 2010]

## 2 Frequência Própria e Período

### 2.1 Massa

$$m = \frac{G + \psi_2 Q}{g} = \frac{90 + 0,6 \cdot 45}{9,8} = 11,94tn$$

### 2.2 Rigidez

$$k_X = K_Y = \frac{3EI}{L^3} = \frac{3 \cdot 33E6 \cdot [\pi \cdot (1,2^4 - 0,8^4) / 64]}{10^3} = 8086,5kN/m$$

### 2.3 Frequência

$$f_X = f_Y = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{8086,5}{11,94}} = 4,14Hz$$

### 2.4 Período

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{4,14} = 0,242 s$$

Tabela 2: Resultados da análise da estrutura

Parâmetro	Valor
Massa	11.94 Ton
Rigidez	8086.4 $\frac{kN}{m}$
Frequência	4.14 Hz
Período	0.241 s

## 3 Parâmetros pelo Eurocódigo 8

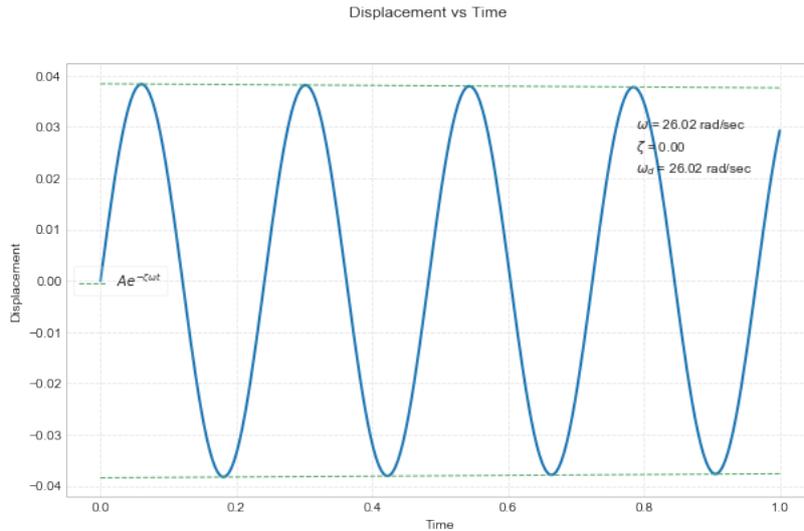


Figura 2: Gráfico da relação deslocamento no tempo, para o primeiro segundo, e com amortecimento nulo.

Tabela 3: Valores dos diversos parâmetros em análise

Parâmetros	Tipo 1	Tipo 2
Localização	Leiria	Leiria
Tipo de Terreno	C	C
Coefficiente de Importância	1	1
Coefficiente de correcção do amortecimento $\eta$	1	1
Aceleração à superfície, $a_g$	0.6	1.1
Parâmetro $S_{max}$	1.6	1.6
Parâmetro $T_B(s)$	0.1	0.1
Parâmetro $T_C(s)$	0.25	0.25
Parâmetro $T_D(s)$	2	2
Parâmetro $S$	1.68	1.58

### 3.1 Espectro de cálculo para a análise elástica, $S_d(T)$

O valor de espectro de cálculo <sup>2</sup> é feito de acordo com a secção 3.2.2.2 do Eurocódigo 8 [Instituto Português de Qualidade LNEC, 2010].

<sup>2</sup>  $a_g$ ,  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ , e  $T_D$  são calculados de acordo com a secção 3.2 do Eurocódigo 8.

Espectro de cálculo para a análise elástica: “A capacidade dos sistemas estruturais de resistir às acções sísmicas no domínio não linear permite, em geral, efectuar o seu cálculo para resistirem a forças sísmicas inferiores às que corresponderiam a uma resposta elástica linear.”

– Secção 3.2.2.5.(a), Eurocódigo 8 [Instituto Português de Qualidade LNEC, 2010]

“O **coeficiente de comportamento, q**, é uma aproximação da razão entre as forças sísmicas a que a estrutura ficaria sujeita se a sua resposta fosse completamente elástica, com 5 % de amortecimento viscoso, e as forças sísmicas que poderão ser adoptadas no projecto, com um modelo de análise elástica convencional, que continuem a assegurar uma resposta satisfatória da estrutura.”

– Secção 3.2.2.5.(b), Eurocódigo 8 [Instituto Português de Qualidade LNEC, 2010]<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Por se tratar de uma estrutura isostática, o coef. de comportamento é  $q=1$ .

Para **Ação Sísmica Tipo 1**:

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,6 \times 1,6 \times \frac{2,5}{1} = 2,4 \text{ m/s}^2$$

Para **Ação Sísmica Tipo 2**:

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 1,1 \times 1,6 \times \frac{2,5}{1} = 4,4 \text{ m/s}^2$$

Tabela 4: Valor do espectro de cálculo,  $S_d(T)$  para os dois tipos de Sismo

Intervalo	Sismo Tipo 1	Sismo Tipo 2
$T_B \leq T \leq T_C$	2.40 m/s <sup>2</sup>	4.40 m/s <sup>2</sup>

## 4 Esforços e Deslocamentos

### 4.1 Sismo Tipo 1

Determinação <sup>4</sup> da força ao nível do grau de liberdade (massa) e do momento flector na base:

$$F = m \cdot S_d(T) = 11,94 \times 2,4 = 28,65 \text{ kN}$$

$$M = F \cdot L = 28,65 \times 10 = 286,5 \text{ kNm}$$

**Determinação do deslocamento horizontal:**  $d_x$

$$d_X = \frac{F}{K_X} = \frac{28,65}{8086,50} = 3,54 \times 10^{-3} \text{ m} = 3,54 \text{ mm}$$

**Determinação do deslocamento horizontal:**  $d_y$

$$d_Y = \frac{F}{K_Y} = \frac{28,65}{8086,50} = 3,54 \text{ mm}$$

**Combinação:**

Para análise tridimensional, um determinado efeito X (esforço, deslocamento ou tensão) obtém-se pela combinação das duas direcções em estudo:

$$X = \pm E_x \pm 0,3E_y$$

- $d_X = 3,54 \text{ mm}$
- $d_Y = 0,3 \times 3,54 = 1,062 \text{ mm}$

$$d_{max} = \sqrt{3,54^2 + 1,06^2} = 3,7 \text{ mm}$$

### 4.2 Sismo Tipo 2

Determinação <sup>5</sup> da força ao nível do grau de liberdade (massa) e do momento flector na base:

$$F = m \cdot S_d(T) = 11,94 \times 4,4 = 52,54 \text{ kN}$$

$$M = F \cdot L = 52,54 \times 10 = 525,4 \text{ kNm}$$

<sup>4</sup> Não foram considerados os Efeitos acidentais de torção: "Para ter em conta a incerteza na localização das massas e na variação espacial do movimento sísmico, o centro de massa calculado em cada piso  $i$  deve ser deslocado, em cada direcção, em relação à sua posição nominal de uma excentricidade acidental:  $e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i$ " –Secção 4.3.2, EC8

<sup>5</sup> Não foram considerados os Efeitos acidentais de torção: "Para ter em conta a incerteza na localização das massas e na variação espacial do movimento sísmico, o centro de massa calculado em cada piso  $i$  deve ser deslocado, em cada direcção, em relação à sua posição nominal de uma excentricidade acidental:  $e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i$ " –Secção 4.3.2, EC8

**Determinação do deslocamento horizontal:**  $d_x$

$$d_x = \frac{F}{K_X} = \frac{52,54}{8086,50} = 6,50 \times 10^{-3} \text{ m} = 6,50 \text{ mm}$$

**Determinação do deslocamento horizontal:**  $d_y$

$$d_y = \frac{F}{K_Y} = \frac{52,54}{8086,50} = 6,50 \text{ mm}$$

**Combinação:**

Para análise tridimensional, um determinado efeito X (esforço, deslocamento ou tensão) obtém-se pela combinação das duas direcções em estudo:

$$X = \pm E_x \pm 0,3E_y$$

- $d_x = 6,50 \text{ mm}$
- $d_y = 0,3 \times 6,50 = 1,95 \text{ mm}$

$$d_{max} = \sqrt{6,5^2 + 1,95^2} = 6,78 \text{ mm}$$

## 5 Resultados

Tabela 5: Resultados da análise pelo Espectro de Resposta e de acordo com o Eurocódigo 8, para uma estrutura localizada em Leiria, sujeita a uma acção sísmica

Parâmetro	Sismo Tipo 1	Sismo Tipo 2
$S_d(T)$ intervalo $T_B \leq T \leq T_C$	2.40 m/s <sup>2</sup>	4.40 m/s <sup>2</sup>
Força, $F$	28.65 kN	52.54 kN
Momento, $M$	286.5 kNm	525.4 kNm
Deslocamento no eixo $x$ , $d_x$	3.543 mm	6.50 mm
Deslocamento no eixo $y$ , $d_y$	3.543 mm	6.50 mm
Combinação	3.70 mm	6.78 mm
$X = \pm E_x \pm 0,3E_y$		

## Referências

Instituto Português de Qualidade LNEC. Eurocódigo 8 – projecto de estruturas para resistência aos sismos parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios. 2010.

J. Veludo. Resposta a acções sísmicas. espectro de resposta. 2019.