

## 7

### Exemplificação para projeto

#### 7.1

#### Forças sobre as Estruturas

##### 7.1.1

##### Edifício de controle de emergência

O edifício de controle é um prédio retangular com  $29\text{m} \times 50\text{m}$  e altura de  $7,10\text{m}$  acima do nível do terreno. Na figura 7.1 estão traçadas as curvas das forças totais na estrutura nas direções x e y, considerando a estrutura como corpo extenso e o tornado atingindo a estrutura pela face menor, “L1” –  $C_d = 1,71$  e  $C_m = 2,67$ , e pela face maior, “L2” –  $C_d = 1,85$  e  $C_m = 2,4$ .

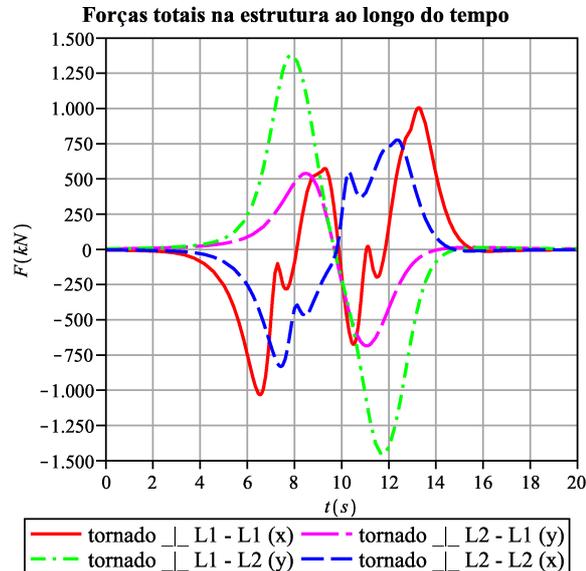


Figura 7.1: Forças totais na estrutura nas direções x e y.

Na tabela 7.1 estão em destaque os valores máximos de cada curva da figura 7.1. Com base nela, chega-se à conclusão que a força global máxima no edifício de controle de emergência é, na face menor, igual a  $1028,2\text{kN}$  e, na face maior, igual a  $1451,5\text{kN}$ .

Tabela 7.1: Valores máximos retirados das curvas da figura 7.1.

Trajетória do Tornado perpendicular	Força na direção X (kN)	Força na direção Y (kN)
ao lado menor	1028,2 (L1)	1451,5 (L2)
ao lado maior	830,5 (L2)	683,9 (L1)

### 7.1.2 Prédio do reator

O prédio do reator é formado por uma semi-esfera de raio 27m, colocada sobre um cilindro de altura 29m e raio da base igual a 27m. Na figura 7.2 são traçadas as curvas das forças totais na estrutura nas direções x e y, considerando a estrutura como corpo extenso e os valores de  $C_d = 1,0$  e  $C_m = 2,0$ .

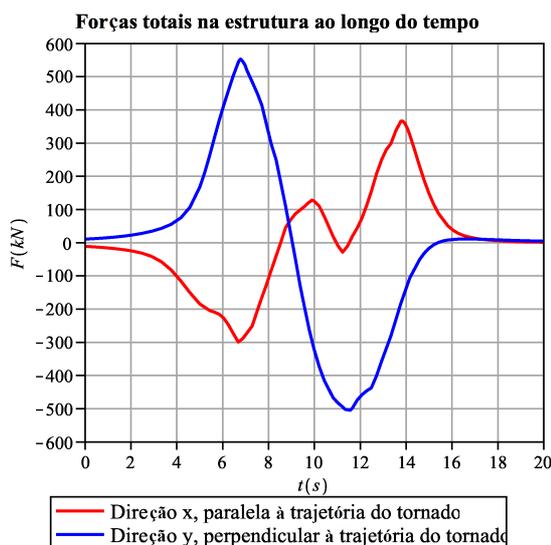


Figura 7.2: Forças totais na estrutura nas direções x e y.

Na tabela 7.2 destacam-se os valores máximos de cada curva da figura 7.2.

Tabela 7.2: Valores máximos retirados das curvas da figura 7.2.

Força na direção X (kN)	Força na direção Y (kN)
366,5	554,0

Adota-se então o valor máximo na base do prédio do reator de  $\sqrt{366,6^2 + 554,0^2} = 664,3kN$ .

### 7.1.3 Torre de ventilação

A torre de ventilação é uma chaminé no formato de um tronco de cone, de 158m altura e com um raio que varia de 6,3m até 1,8m. Na figura 7.3 são traçadas as curvas das forças totais na estrutura nas direções x e y, considerando a estrutura como corpo extenso e os valores de  $C_d = 1,0$  e  $C_m = 2,0$ .

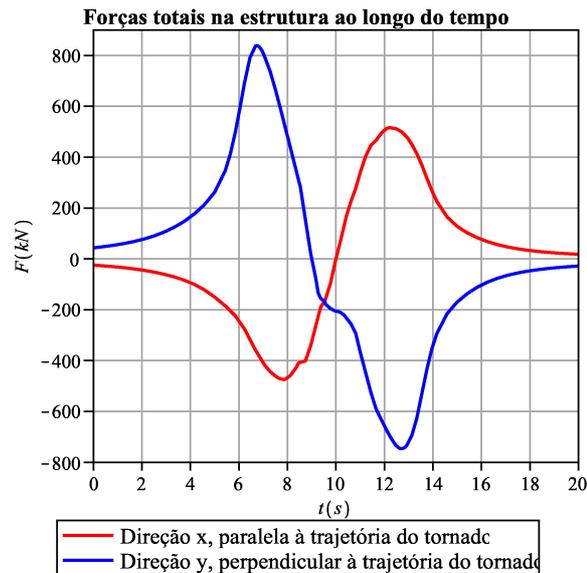


Figura 7.3: Forças totais na estrutura nas direções x e y.

Na tabela 7.3 destacam-se os valores máximos de cada curva da figura 7.3.

Tabela 7.3: Valores máximos retirados das curvas da figura 7.3.

Força na direção X (kN)	Força na direção Y (kN)
515,7	837,5

Adota-se então o valor máximo na base da torre de  $\sqrt{515,7^2 + 837,5^2} = 983,6 \text{ kN}$ .

## 7.2 Queda de Pressão Atmosférica

### 7.2.1 Edifício de controle de emergência

Como o prédio é retangular, o tornado é avaliado atingindo a estrutura perpendicularmente à face menor 7.4(a) e à face maior 7.4(b), para a altura máxima, em três pontos diferentes de cada face — o centro e as duas extremidades da face.

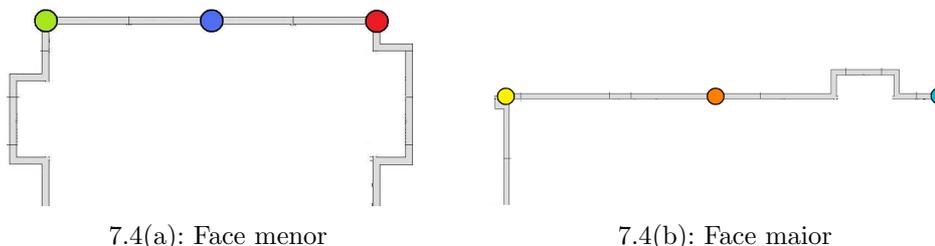


Figura 7.4: Posição dos pontos avaliados.

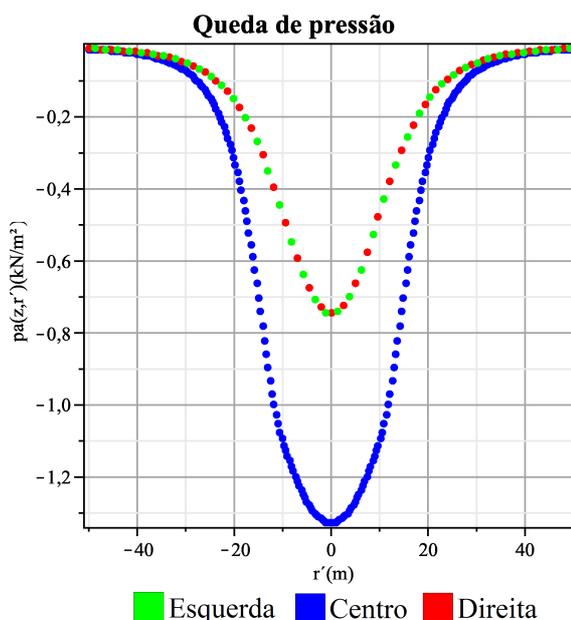


Figura 7.5: Queda de pressão para altura de 7,10m, com o tornado atingindo a menor face, 7.4(a).

Percebe-se que para ambos os casos, figuras 7.5 e 7.6, a situação crítica é o tornado atingindo o centro das faces. Outro ponto importante é que os valores da pressão atmosférica fornecem para o caso do prédio, valores inferiores quando comparados com o valor da pressão para o cálculo SVA. O máximo valor obtido nas figuras 7.5 e 7.6 é de  $1,32\text{ kN/m}^2$  enquanto que o valor máximo para SVA na figura 6.12 é de  $3,31\text{ kN/m}^2$ .

Sendo assim, tem-se na figura 7.7, a distribuição da variação da pressão atmosférica ao longo da altura para a situação crítica (centro da face).

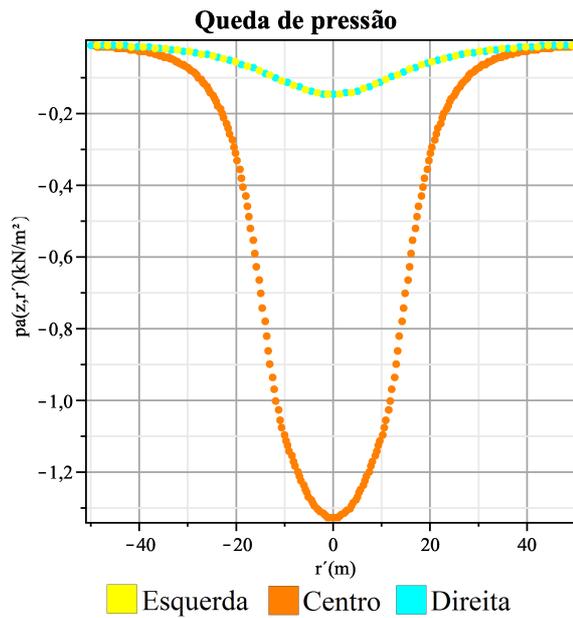


Figura 7.6: Queda de pressão para altura de 7,10m, com o tornado atingindo a maior face, 7.4(b).

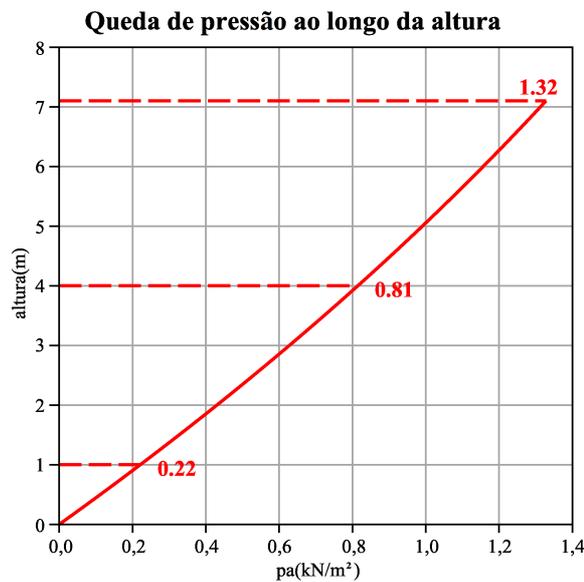


Figura 7.7: Valores da queda de pressão ao longo da altura em módulo (centro da face).

Já o valor máximo da taxa de queda de pressão com o tempo pode ser definido com base na figura 6.14. No gráfico da figura 7.8, é possível observar a variação dos valores máximos da taxa de pressão com a altura.

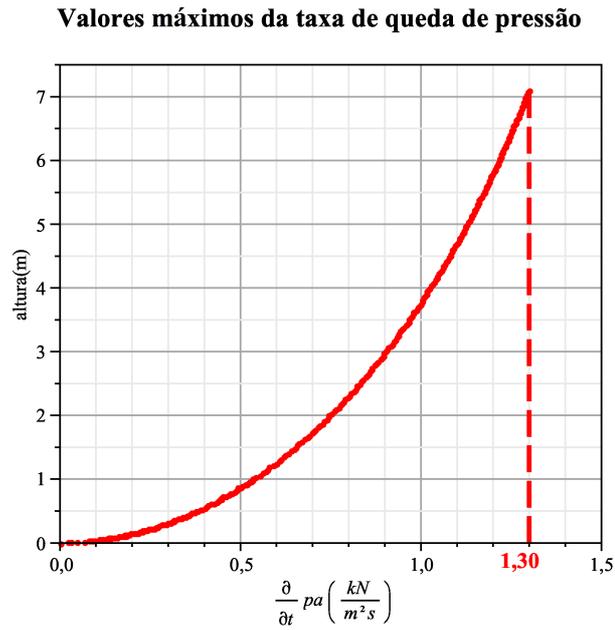


Figura 7.8: Valores da taxa de pressão ao longo da altura.

### 7.2.2 Prédio do reator

Como o prédio do reator é um edifício axissimétrico, basta uma única análise do tornado atingindo a estrutura.

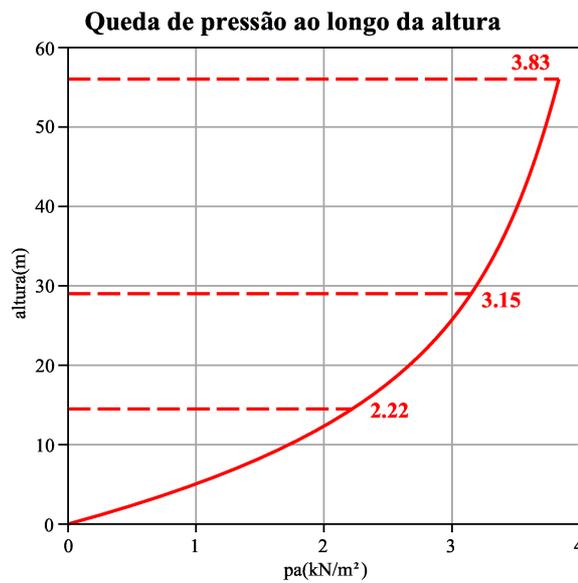


Figura 7.9: Valores da queda de pressão ao longo da altura em módulo.

Na figura 7.9 , nota-se que os valores de queda de pressão atmosférica ( $3,83kN/m^2$ ), para esse caso, são maiores quando comparados com o valor da pressão para o cálculo SVA ( $3,31kN/m^2$ ), figura 6.12.

Já o valor máximo da taxa de queda de pressão com o tempo pode ser definido com base na figura 6.14. No gráfico da figura 7.10, é possível observar a variação dos valores máximos da taxa de queda de pressão com a altura.

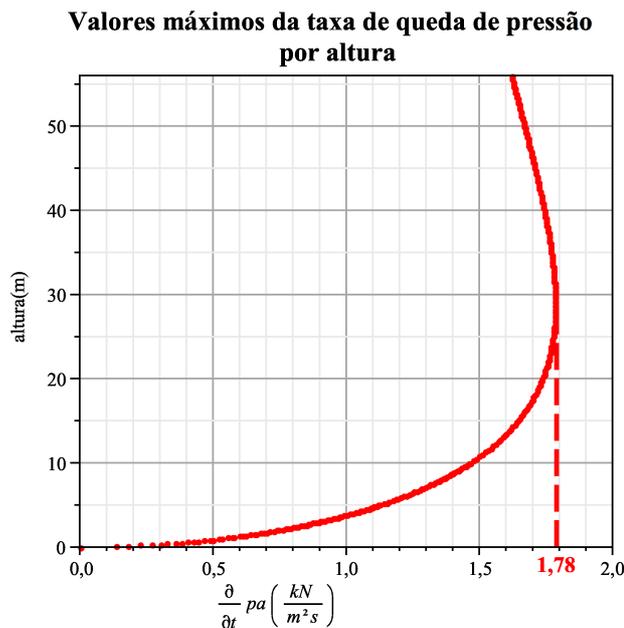


Figura 7.10: Valores da taxa de queda de pressão ao longo da altura.

### 7.2.3 Torre de ventilação

Como a torre de ventilação, assim como o prédio do reator, é uma estrutura axissimétrica, basta uma única análise do tornado atingindo a estrutura. Na figura 7.11 , nota-se que os valores da pressão atmosférica com a formulação da variação da velocidade tangencial com a altura é de ( $4,83kN/m^2$ ), já o valor máximo da taxa de pressão com o tempo é de  $1,78kN/m^2/s$ , figura 7.12.

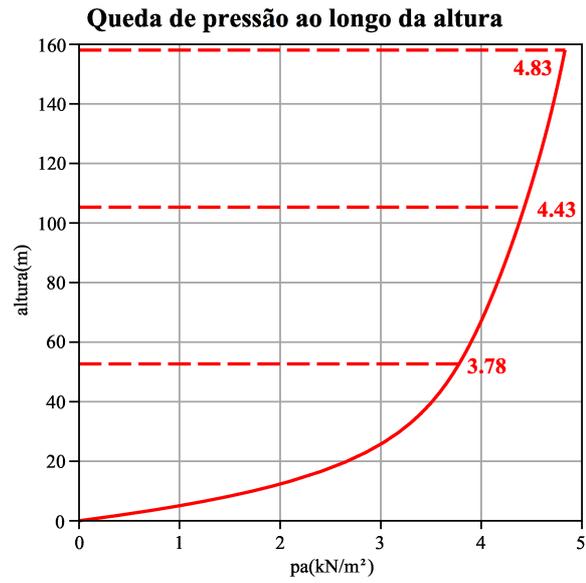


Figura 7.11: Valores ao longo da altura da queda de pressão.

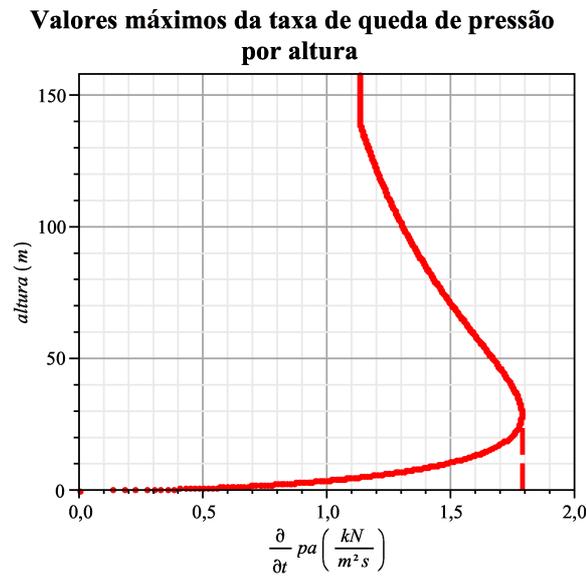


Figura 7.12: Valores ao longo da altura da taxa de queda de pressão.

### 7.3 Míssil

#### 7.3.1 Automóvel

##### Cálculos

A máxima força estática equivalente pode ser calculada aplicando  $\text{sen}(20t)=1$  e multiplicando a equação resultante pelo fator de amplificação dinâmica para o pulso senoidal,  $F_{AD}$ , que depende da frequência natural da estrutura que está sendo avaliada, levando a máxima força de impacto do automóvel ao valor de:

$$F_{\max} = 0,625 F_{AD} V_s W_m$$

Para um automóvel com massa de 1178kg,

$$W_m = 1178 \text{kg} \times 9,8 \text{m/s}^2 = 11544,4 \text{N} \approx 2595,3 \text{ lbf}$$

e  $V_s = 24 \text{m/s} \approx 78,7 \text{ ft/s}$ , logo:

$$\begin{aligned} F_{\max} &= 0,625 \times F_{AD} \times 78,7 \times 2595,3 \\ &= 127656 F_{AD} \text{ lbf} \approx 568 F_{AD} \text{ kN} \end{aligned} \quad (7-1)$$

Esta força pode ser tratada como uma força distribuída. Uma área de impacto de 1x1,5m é sugerida. A aplicação desta carga na estrutura é dependente da situação. Deve-se traçar o caminho da carga de impacto como sua distribuição através da estrutura, por exemplo, uma barra atingida por um automóvel pode muito bem ser capaz de resistir à força de impacto; entretanto, colunas extremamente carregadas podem flambar enquanto a carga lhes é distribuída pela barra.

$$F_{\max} = 568 F_{AD} \text{ kN numa área de } 1 \times 1,5 \text{m}$$

#### 7.3.2 Tubulação

##### Cálculos

$$K = \frac{180}{\sqrt{f'c}} \quad (7-2)$$

Adotando  $f'c = 35 \text{MPa} = 5076 \text{psi}$

$$K = \frac{180}{\sqrt{5076}} = 2,53 \quad (7-3)$$

Substituindo a massa do tubo  $W_m=130\text{kg} = 286,6\text{lb}$ , o diâmetro  $d_0 = 6\text{in}$  e a velocidade  $V = 24\text{m/s} = 78,7\text{ft/s}$ .

$$x_1 = \sqrt{4 \times 2,53 \times 0,72 \times 286,6 \times 6 \left( \frac{78,7}{1000 \times 6,6} \right)^{1,8}} = 2,27$$

$$x_2 = 6 + 2,53 \times 0,72 \times 286,6 \left( \frac{78,7}{1000 \times 6} \right)^{1,8} = 6,21$$

$$\frac{x_1}{d_0} = 0,38 \text{ é } \leq 2$$

$$\frac{x_2}{d_0} = 1,04 \text{ não é } > 2$$

Logo,  $x = x_1 = 2,27\text{in} = 0,058\text{m} = 5,78\text{cm}$

$$\boxed{\text{Penetração } x = 5,78\text{cm}}$$

Área da seção transversal do metal,  $A_c = 5,581\text{in}^2$ , sendo assim:

$$d_e = \left( \sqrt{\frac{4 \times 5,581}{\pi}} \right) = 2,67\text{in}$$

como  $\frac{x}{d_e} = 0,85$  que é  $< 1,35$

$$T_p = 3,19 \times 2,27 - 0,718 \frac{2,27^2}{2,67} = 5,84\text{in}$$

$t_p = 1,2T_p = 1,2 \times 5,84 = 7,01\text{in} = 0,179\text{m} = 17,9\text{cm}$  para projetos novos.

$$\boxed{\text{Espessura mínima para evitar a perfuração} = 17,9\text{cm}}$$

como  $\frac{x}{d_e} = 0,85$  que é  $> 0,65$

$$T_s = 1,36 \times 2,27 + 2,12 \times 2,67 = 8,73\text{in}$$

$t_s = 1,2T_s = 1,2 \times 8,73 = 10,48\text{in} = 0,267\text{m} = 26,7\text{cm}$  para projetos novos.

$$\boxed{\text{Espessura mínima para evitar o estilhaçamento} = 26,7\text{cm}}$$

### 7.3.3 Esfera

#### Cálculos

$$K = \frac{180}{\sqrt{f'c}} \quad (7-4)$$

Adotando  $f'c = 35\text{MPa} = 5076\text{psi}$

$$K = \frac{180}{\sqrt{5076}} = 2,53 \quad (7-5)$$

Substituindo a massa da esfera  $W_m = 0,0669\text{kg} \approx 0,15\text{lb}$ , o diâmetro  $d_0 = 0,0254\text{m} = 1\text{in}$  e a velocidade  $V = 6\text{m/s} = 19,7\text{ft/s}$

$$x_1 = \sqrt{4 \times 2,53 \times 0,84 \times 0,15 \times 1 \left( \frac{19,7}{1000 \times 1} \right)^{1,8}} = 0,03$$

$$x_2 = 1 + 2,53 \times 0,84 \times 0,15 \left( \frac{19,7}{1000 \times 1} \right)^{1,8} = 1$$

$$\frac{x_1}{d_0} = 0,03 \text{ é } \leq 2$$

$$\frac{x_2}{d_0} = 1,00 \text{ não é } > 2$$

Logo,  $x = x_1 = 0,033\text{in} = 0,0008\text{m} = 0,8\text{mm}$

Penetração $x = 0,8\text{mm}$
-------------------------------

como  $\frac{x}{d_e} = 0,03$  que é  $\leq 1,35$ ,

$$T_p = 3,19 \times 0,033 - 0,718 \frac{0,033^2}{1} = 0,10\text{in} = 0,0026\text{m} = 0,26\text{cm}$$

$t_p = 1,2T_p = 1,2 \times 0,26 = 0,31\text{cm}$  para projetos novos.

Espessura mínima para evitar a perfuração = 3,1mm
---

como  $\frac{x}{d_e} = 0,33$  que é  $\leq 0,65$ ,

$$T_s = 7,91 \times 0,033 - 5,06 \frac{0,033^2}{1} = 0,25\text{in} = 0,0064\text{m} = 0,64\text{cm}$$

$t_s = 1,2T_s = 1,2 \times 0,64 = 0,77\text{cm}$  para projetos novos.

Espessura mínima para evitar o estilhaçamento = 7,7mm
---