

## ANEXO A6.1

Determinação do esforço axial atuante na tábua de madeira definida na Secção 6.4.2.1.

As ações permanentes e variáveis consideradas no sótão e na cobertura do edifício de tabique são as indicadas na Tabela A6.1. O valor da sobrecarga considerada atuante na cobertura é de  $0,4 \text{ kN/m}^2$ , valor este recomendado pela norma NP EN 1991-1-1 [2009]. A sobrecarga atuante no sótão considerou-se igual à da cobertura. Para se obter o peso próprio da cobertura recorreu-se às Tabelas Técnicas [Farinha & Reis, 1998]. O peso próprio corresponde ao de uma cobertura usual constituída por telha 1/2 cana, tipo mouriscado, incluindo forro (guarda pó), argamassa, ripas e varas com um peso total de  $1,45 \text{ kN/m}^2$ , a este peso adicionou-se ainda o peso próprio de madres e elementos de contraventamento que correspondem a  $0,10 \text{ kN/m}^2$  e o peso próprio de asnas até 10 metros de vão e que correspondem a  $0,15 \text{ kN/m}^2$ , totalizando no conjunto um peso de  $1,70 \text{ kN/m}^2$ . Para o peso próprio do sótão, constituído por vigas secundárias e as tábuas de soalho considerou-se o valor de  $0,10 \text{ kN/m}^2$ .

Tabela A6.1 - Ações atuantes na cobertura e sótão

Peso da cobertura incluído revestimento	$1,70 \text{ kN/m}^2$
Sobrecarga de utilização na cobertura	$0,4 \text{ kN/m}^2$
Peso do pavimento do sótão	$0,10 \text{ kN/m}^2$
Sobrecarga de utilização no sótão	$0,4 \text{ kN/m}^2$

A área de influência do sótão e da cobertura que descarrega na tábua é, na situação mais desfavorável, de aproximadamente  $5,50 \text{ m}^2$  ( $2,20 \text{ m} \times 2,50 \text{ m}$ ) de acordo com a Figura 4.29 do Capítulo 4.

A combinação de ações considerada é relativa à combinação fundamental do estado limite último (expressão (A6.1)) e definida na norma NP EN 1990 [2002]. O coeficiente parcial de segurança para a ação permanente é  $\gamma_g = 1,35$ , e para a ação variável  $\gamma_q = 1,5$ , Tabela A6.2. O valor do coeficiente de combinação  $\psi_2$  vale  $0,7$ , Tabela A6.3.

$$E_d = \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{A6.1})$$

Onde  $G_{kj}$  representa as ações permanentes,  $Q_{k,1}$  a ação variável de base e  $Q_{k,i}$  as ações variáveis de acompanhamento. Substituindo o valor das ações na expressão (A6.1), vem

$$E_d = 1.35 \times 1.8 + 1.5 \times 0.4 + 1.5 \times 0.7 \times 0.4 = 3.45 \text{ kN/m}^2$$

O esforço axial atuante na tábua vem  $E_d = 3,45 \text{ kN/m}^2 \times 5,50 \text{ m}^2 = 18,98 \text{ kN}$

Os coeficientes parciais de segurança a utilizar nas combinações fundamentais são apresentados na Tabela A6.2.

Tabela A6.2 - Coeficientes parciais de segurança

Coeficientes parciais de segurança	Resistência e encurvadura		Equilíbrio	
	Ação favorável	Ação desfavorável	Ação favorável	Ação desfavorável
$\gamma_{G,j}$	1,00	1,35	0,90	1,10
$\gamma_{Q,1}$	0,00	1,50	0,00	1,50
$\gamma_{Q,i}$	0,00	1,50	0,00	1,50

Os coeficientes de combinação  $\psi$ , também utilizados nas combinações de ações são apresentados na Tabela A6.3.

Tabela A6.3 - Coeficientes de combinação  $\psi$

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga em edifícios	0,70	0,50	0,30
Neve	0,50	0,20	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00

## ANEXO A6.2

Na Tabela A6.4 apresentam-se as propriedades geométricas e mecânicas introduzidas no programa de análise estrutural para definir a secção transversal das tábuas, a área, os momentos de inércia e os raios de giração em torno de cada um dos eixos principais centrais de inércia.

Tabela A6.4 - Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das tábuas

Propriedades	Valores
Área	0,0108 m <sup>2</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo fraco	3,24x10 <sup>-6</sup> m <sup>4</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo forte	2,916x10 <sup>-5</sup> m <sup>4</sup>
Raio de giração em relação ao eixo fraco	0,01732 m
Raio de giração em relação ao eixo forte	0,0520 m

Na Tabela A6.5 apresentam-se as propriedades geométricas e mecânicas introduzidas no programa de análise estrutural para definir a secção transversal dos frechais superior e inferior, a área, os momentos de inércia e os raios de giração em torno de cada um dos eixos principais centrais de inércia.

Tabela A6.5 - Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal do frechal superior e inferior

Propriedades	Valores
Área	0,004 m <sup>2</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo fraco	8,333x10 <sup>-7</sup> m <sup>4</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo forte	2,133x10 <sup>-6</sup> m <sup>4</sup>
Raio de giração em relação ao eixo fraco	0,0144 m
Raio de giração em relação ao eixo forte	0,0231 m

As propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das ripas definidas no modelo B são apresentadas na Tabela A6.6 e dizem respeito a área e aos momentos de inércia e raios de giração em torno de cada um dos eixos principais centrais de inércia.

Tabela A6.6 - Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das ripas do modelo B

Propriedades	Valores
Área	0,0006 m <sup>2</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo fraco	2,00x10 <sup>-8</sup> m <sup>4</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo forte	4,5x10 <sup>-8</sup> m <sup>4</sup>
Raio de giração em relação ao eixo fraco	5,774x10 <sup>-3</sup> m
Raio de giração em relação ao eixo forte	8,66x10 <sup>-3</sup> m

Na Tabela A6.7 apresentam-se as propriedades geométricas e mecânicas introduzidas no programa de análise estrutural para definir a secção transversal das ripas definidas no modelo C, a área, os momentos de inércia e os raios de giração em torno de cada um dos eixos principais centrais de inércia.

Tabela A6.7 - Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das ripas do modelo C

Propriedades	Valores
Área	0,0003 m <sup>2</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo fraco	2,50x10 <sup>-9</sup> m <sup>4</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo forte	2,25x10 <sup>-8</sup> m <sup>4</sup>
Raio de giração em relação ao eixo fraco	2,887x10 <sup>-3</sup> m
Raio de giração em relação ao eixo forte	8,66x10 <sup>-3</sup> m

Na Tabela A6.8 apresentam-se as propriedades geométricas e mecânicas introduzidas no programa de análise estrutural para definir a secção transversal dos pregos definidos no modelo C, a área, os momentos de inércia e os raios de giração em torno de cada um dos eixos principais centrais de inércia.

Tabela A6.8 - Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal dos pregos

Propriedades	Valores
Área	9x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo fraco	6,75x10 <sup>-12</sup> m <sup>4</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo forte	6,75x10 <sup>-12</sup> m <sup>4</sup>
Raio de giração em relação ao eixo fraco	8,66x10 <sup>-4</sup> m
Raio de giração em relação ao eixo forte	8,66x10 <sup>-4</sup> m

Por sua vez, na Tabela A6.9 apresentam-se as propriedades materiais do aço dos pregos, o percentil de 5 % do módulo de elasticidade longitudinal e a densidade média.

Tabela A6.9 - Propriedades mecânicas e físicas do aço dos pregos

E <sub>0,05</sub> (GPa)	ν	ρ <sub>mean</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
206	0,3	76,97

Na Tabela A6.10 apresentam-se as propriedades do material de enchimento que constitui os elementos membrana e as bielas.

Tabela A6.10 - Propriedades mecânicas e físicas do material de enchimento

E <sub>0,05</sub> (MPa)	ν	ρ <sub>mean</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
200	0,3	18

Na Tabela A6.11 apresentam-se as propriedades geométricas e mecânicas das bielas.

Tabela A6.11 - Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das bielas

Propriedades	Valores
Área	0,0036 m <sup>2</sup>
Momento de inércia em relação ao eixo fraco	1,08x10 <sup>-6</sup> m <sup>4</sup>
Momento de inércia em relação eixo forte	1,08x10 <sup>-6</sup> m <sup>4</sup>
Raio de giração em relação ao eixo fraco	0,01732 m
Raio de giração em relação ao eixo forte	0,01732 m

Na Tabela A6.12 apresentam-se as propriedades materiais dos elementos Shell.

Tabela A6.12 - Propriedades mecânicas e físicas do elemento Shell

E <sub>0.05</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	v	ρ <sub>mean</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
100	0,0	0,0

## ANEXO A6.3

Determinação da carga uniformemente distribuída atuante de cálculo numa parede exterior de tabique.

As ações atuantes ao nível do piso do sótão correspondem àquelas que já foram determinadas no anexo A6.1 e que se indicam na Tabela A6.3.

Tabela A6.13 - Ações atuantes na cobertura e sótão

Peso da cobertura incluído revestimento	1,70 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de utilização na cobertura	0,4 kN/m <sup>2</sup>
Peso do pavimento do sótão	0,10 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de utilização no sótão	0,4 kN/m <sup>2</sup>

A área de influência do sótão e da cobertura que descarrega na parede do alçado lateral direito tem, na situação mais desfavorável, uma largura de aproximadamente 1,20 m e de acordo com a Figura 4.29 do Capítulo 4.

A combinação de ações considerada é relativa a combinação fundamental do estado limites último (expressão (A6.1)) e definida na norma EN 1990 [2002]. O coeficiente parcial de segurança para a ação permanente é  $\gamma_g = 1,35$  e para a ação variável  $\gamma_q = 1,5$ , Tabela A6.2. O valor do coeficiente de combinação  $\psi_2$  vale 0,7 (Tabela A6.3).

$$E_d = \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{A6.1})$$

Substituindo o valor das ações, Tabela A6.12 na Expressão (A6.1), vem

$$E_d = 1,35 \times 1,8 + 1,5 \times 0,4 + 1,5 \times 0,7 \times 0,4 = 3,45 \text{ kN/m}^2$$

A carga uniformemente distribuída de cálculo atuante na parede de tabique vem  $E_d = 3,45 \text{ kN/m}^2 \times 1,20 \text{ m} = 4,14 \text{ kN/m}$ .

## ANEXO A6.4

Verificação da segurança à flexão das tábuas verticais de madeira de pinho da classe C18 dos modelos estruturais A e C e das ripas de madeira do modelo numérico C.

A condição de segurança para peças lineares fletidas em relação a um eixo é traduzida pela expressão (A6.2),

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}, \quad (\text{A6.2})$$

onde  $\sigma_{m,d}$  é a tensão normal máxima atuante e  $f_{m,d}$  é a tensão resistente de cálculo à flexão calculada de acordo com a expressão (A6.3),

$$f_{m,d} = k_{sys} k_h \frac{k_{mod} f_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (\text{A6.3})$$

obtendo-se assim,  $f_{m,d} = 12,6$  MPa. Na expressão (A6.3)  $f_{m,k} = 18$  MPa (Tabela 6.4), o coeficiente parcial de segurança toma o valor  $\gamma_M = 1,3$  por se tratar de madeira sólida e por estarem envolvidas combinações fundamentais. O coeficiente  $k_{mod}$  toma o valor de 0,70 em virtude da classe de serviço ser 3 e das ações serem de curta duração (ação do vento) (Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3), o coeficiente de carga partilhada é tomado igual a  $k_{sys} = 1,0$  (justificado na Secção 6.4.2.3.2) e o coeficiente  $k_h = 1,3$  foi determinado através da expressão (A6.4),

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^2, 1,3 \right\}, \quad (\text{A6.4})$$

onde a altura das tábuas de madeira fletidas é de  $h = 60$  mm.

A tensão normal máxima atuante nas tábuas de madeira é determinada através da expressão (A6.5),

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 M_{sd}}{b h^2}, \quad (\text{A6.5})$$

onde  $M_{sd}$  é o momento fletor máximo atuante e que tomam os valores de 0,27 kN.m e 0,25 kN.m nos modelos numéricos A e C, respetivamente. A largura da secção é  $b = 0,18$  m e a altura da secção fletida é  $h = 0,06$  m.

As tensões normais atuantes  $\sigma_{m,d}$  tomam os valores de 2,5 MPa e 2,3 MPa e ambas verificam a condição  $\sigma_{m,d} \leq 12,6$  MPa da expressão (A6.2). As tábuas de madeira estão em segurança de acordo com o EC5.

Relativamente às ripas de madeira, a altura das ripas fletidas é de  $h = 10$  mm vindo  $k_h = 1,3$  (expressão A6.4). O coeficiente parcial de segurança toma o valor  $\gamma_M = 1,3$  por se tratar de madeira sólida e por estarem envolvidas combinações fundamentais. O coeficiente  $k_{mod}$  toma o valor de 0,70 em virtude da classe de serviço ser 3 e das ações serem de curta duração (ação do vento) (Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3), o coeficiente de carga partilhada é tomado igual a  $k_{sys} = 1,0$  (justificado na Secção 6.4.2.3.2). Pelo que vem, substituindo na expressão (A6.3),  $f_{m,d} = 12,6$  MPa.

O momento fletor máximo atuante nas ripas de madeira é 0,0006 kN.m, a largura das ripas é  $b=0.003$  e a altura é  $h=0.001$ , pelo que a tensão máxima atuante é  $\sigma_{m,d} = 1,2$  MPa (expressão (A6.5)) e que verifica a condição  $\sigma_{m,d} \leq 12,6$  MPa da expressão (A6.2). As ripas de madeira estão em segurança de acordo com o EC5.