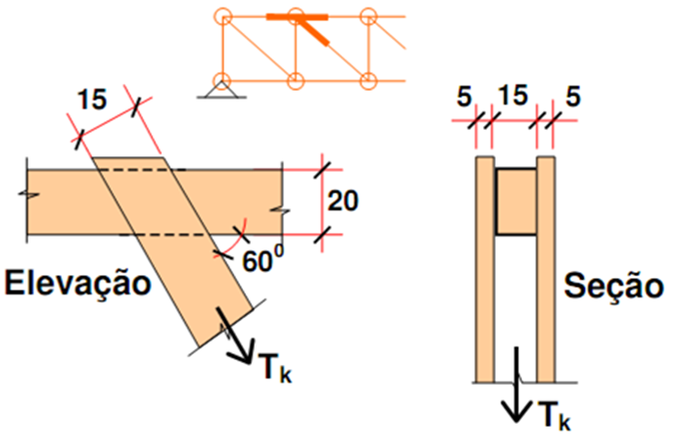
SE2_E17-02

Projetar a ligação entre as peças de madeira indicadas nas figuras, usando parafusos como meio ligante.

- Madeira Pinho do Paraná;
- Dimensões em centímetros;
- Madeira de 2a. categoria;
- Classe 1 de umidade;
- Carregamento de longa duração;
- Esforços atuantes:
 TGk = 10 kN (permanente);
 TQk = 10 kN (sobrecarga);
- ELU Combinação Normal;



Propriedades da Madeira:

* Buscar nas tabelas da norma as propriedades do Pinho do Paraná.

$fc0m := 40,9\ MPa$ ---> $fc0k := 0,7 \cdot fc0m = 2,863\ \frac{kN}{cm^2}$

$kmod1 := 0,7$ Carregamentos de longa duração

$kmod2 := 1,0$ Classe 1 de umidade

$kmod3 := 0,8$ Conífera

$kmod := kmod1 \cdot kmod2 \cdot kmod3 = 0,56$ $fc0d := kmod \cdot \frac{fc0k}{1,4} = 1,1452\ \frac{kN}{cm^2}$

Combinações de Ações (ELU):

$\gamma g := 1,4$ $\gamma q := 1,4$ $T_{Gk} := 10\ kN$ $T_{Qk} := 10\ kN$

$Tsd := \gamma g \cdot T_{Gk} + \gamma q \cdot T_{Qk} = 28\ kN$

Escolha do Diâmetro do Parafuso e Determinação das Resistências de Embutimento (Tentativa 1):

Determinação da Resistência por Parafuso Instalado (Tentativa 1):

Esforço Resistente por Plano de Corte das Peças Laterais "RVd1_laterais":

$\beta = \frac{t}{d}$ $\beta_{lim} = 1,25\sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,1}$ $fyd := \frac{240\ MPa}{1,1} = 21,8182\ \frac{kN}{cm^2}$

$\beta_laterais := \frac{tc_laterais}{d1} = 2,2727$ $\beta lim_laterais := 1,25 \cdot \sqrt{\frac{fyd}{fed_laterais}} = 5,4561$

Como β_laterais < βlim_laterais ---> Modo de Falha: EMBUTIMENTO DA MADEIRA

$$R_{Vd1} = 0,40.\frac{t^2}{\beta}.f_{ed}$$

$$RVd1_laterais := 0,40 \cdot \frac{tc_laterais^{\,2}}{\beta_laterais} \cdot fed_laterais = 5,0389\ kN$$

Esforço Resistente por Plano de Corte da Peça Central "RVd1_central:

$$\beta = \frac{t}{d} \qquad \beta_{lim} = 1,25\sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \qquad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,1}$$

$$\beta_central := \frac{tc_central}{d1} = 3,4091 \qquad \beta lim_central := 1,25 \cdot \sqrt{\frac{fyd}{fed_central}} = 8,6365$$

Como β_central < βlim_central ---> Modo de Falha: EMBUTIMENTO DA MADEIRA

$$R_{Vd1} = 0,40.\frac{t^2}{\beta}.f_{ed}$$

$$RVd1_central := 0,40 \cdot \frac{tc_central^{\,2}}{\beta_central} \cdot fed_central = 3,0165\ kN$$

Esforço Resistente por Plano de Corte da Ligação (Valor Final):

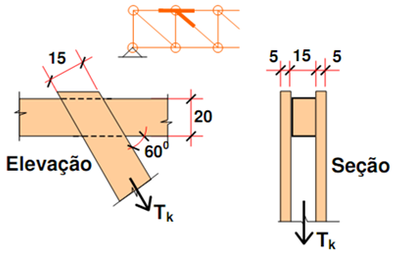
$$RVd1 := \min([\ RVd1_laterais\ \ RVd1_central\ ]) = 3,0165\ kN$$

Esforço Resistente por Parafuso:

Os parafusos instalados na ligação necessariamente atravessam as 3 peças gerando portanto 2 planos de corte por parafuso

$$n_planos := 2$$

$$RVd_paraf := n_planos \cdot RVd1 = 6,033\ kN$$



Cálculo da Quantidade de Parafusos Necessários e Detalhamento da Ligação (Tentativa 1):

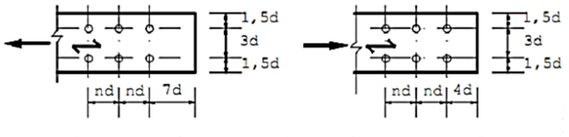
$$N_paraf := \frac{Tsd}{RVd_paraf} = 4,6411$$

Como não é possível instalar "frações de parafusos" na ligação adota-se o próximo número inteiro superior ao calculado.

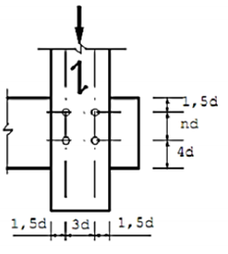
$$N_paraf := 5$$

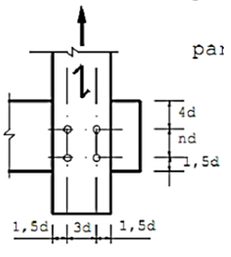
Geometria da instalação de parafuso: DICA ---> pensar nos pontos de um "dado".

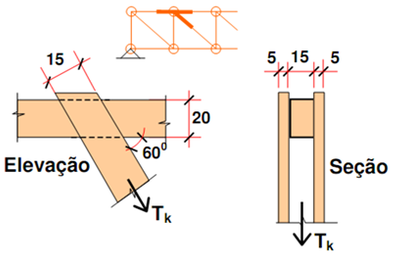
Espaçamentos Mínimos entre Pinos



Pregos, cavilhas e parafusos ajustados: n = 6
pregos, cavilhas e parafusos não-ajustados: n = 4







Entre parafusos em paralelo à linha de atuação da força: $4 \cdot d1 = 8,8\ cm$ $e1 := 9\ cm$

Bordo Carregado: $1,5 \cdot d1 = 3,3\ cm$ $e2 := 3,5\ cm$

Bordo Descarregado: $4 \cdot d1 = 8,8\ cm$ $e3 := 9\ cm$

Disposição da Furação:

$$\begin{bmatrix} x & 0 & x \\ 0 & x & 0 \\ x & 0 & x \end{bmatrix}$$

Em relação a largura da peça central (medida na vertical = 20 cm)

$e2 + 2 \cdot e1 + e3 = 30,5\ cm$

Tentativa de Solução: Adotar detalhe de ligação assimétrico com apenas 2 linhas de furação na horizontal;

$$\begin{bmatrix} x & 0 & x \\ 0 & 0 & 0 \\ x & x & x \end{bmatrix} \text{ ou } \begin{bmatrix} x & x & x \\ 0 & 0 & 0 \\ x & 0 & x \end{bmatrix}$$

$e2 + 1 \cdot e1 + e3 = 21,5\ cm$ Ainda não dá !!!

O que fazer:
1) Alterar a espessura peça;
2) Trocar para um diâmetro menor de parafuso;

* Com 3 linhas de furação na horizontal o cálculo do diâmetro pode ser feito como:

$1,5 \cdot d + 2 \cdot 4 \cdot d + 4 \cdot d = 20\ cm$

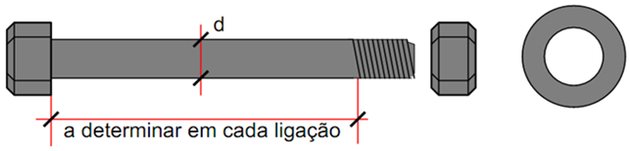
$d \cdot (1,5 + 2 \cdot 4 + 4) = 20\ cm$

$$d := \frac{20\ cm}{(1,5 + 2 \cdot 4 + 4)} = 1,4815\ cm$$

Da tabela:

$d2 := 1,27\ cm$

a) parafusos lisos, com cabeça e porca :



Diâmetros “d” (polegadas)	3/8”	1/2”	5/8”	3/4"	7/8”	1/1”
Diâmetros “d” (cm)	0,95*	1,27	1,60	1,90	2,20	2,54

Tabela 22 – Diâmetros de parafusos lisos

* utiliza-se este parafuso, embora d_{min} = 10 mm, pela **NBR-7190**.

Determinação da Resistência de Embutimento da Peça Central (Tentativa 2):

Tabela para determinação do αE: $d2 = 1,27\ cm$

d(cm)	≤0,62	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	≥7,5
α_E	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1,0

Da tabela acima: $\alpha_E := 1,68$ (considerando 1,27 cm como igual à 1,25 cm - 1/2 polegada)

$$fe90d := 0,25 \cdot fc0d \cdot \alpha_E = 0,4810\ \frac{kN}{cm^2}$$

Por Hankinson:

$$fe60d := \frac{fe0d \cdot fe90d}{fe0d \cdot \sin(60\ °)^2 + fe90d \cdot \cos(60\ °)^2} = 0,5626\ \frac{kN}{cm^2}$$

$$fed_central := fe60d = 0,5626\ \frac{kN}{cm^2}$$

Determinação da Resistência por Parafuso Instalado (Tentativa 2):

Cálculo da Quantidade de Parafusos Necessários e Detalhamento da Ligação (Tentativa 2):

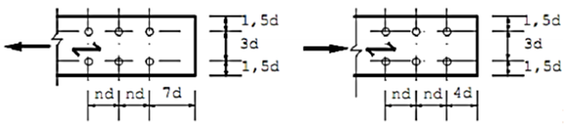
$N_paraf := \frac{Tsd}{RVd_paraf} = 6,5319$

Como não é possível instalar "frações de parafusos" na ligação adota-se o próximo número inteiro superior ao calculado.

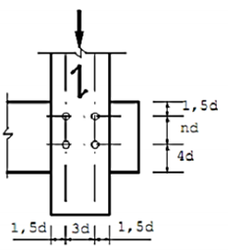
$N_paraf := 7$

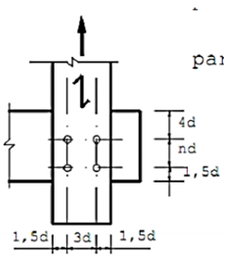
Geometria da instalação de parafuso: DICA ---> pensar nos pontos de um "dado".

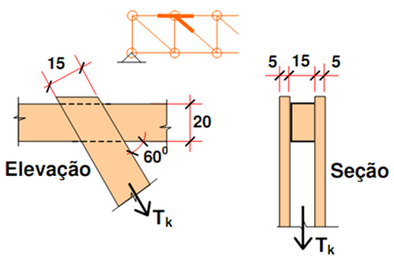
Espaçamentos Mínimos entre Pinos



Pregos, cavilhas e parafusos ajustados: n = 6
pregos, cavilhas e parafusos não-ajustados: n = 4







Entre parafusos em paralelo à linha de atuação da força: $4 \cdot d2 = 5,08$ cm $e1 := 6$ cm

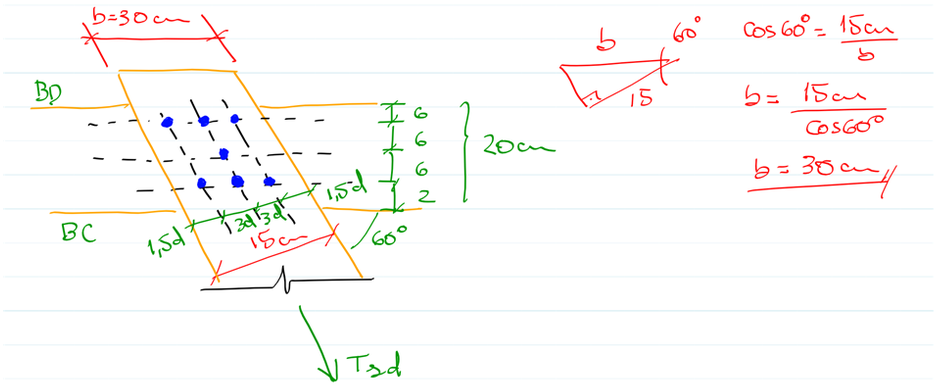
Bordo Carregado: $1,5 \cdot d2 = 1,905$ cm $e2 := 2$ cm

Bordo Descarregado: $4 \cdot d2 = 5,08$ cm $e3 := 6$ cm

* Com 3 linhas de furação na horizontal o cálculo do diâmetro pode ser feito como:

$e2 + 2 \cdot e1 + e3 = 20$ cm

$$\begin{bmatrix} x & x & x \\ 0 & x & 0 \\ x & x & x \end{bmatrix}$$



Verificação dos espaçamentos nas linhas de furação verticais:

$1,5 \cdot d2 + 3 \cdot d2 + 3 \cdot d2 + 1,5 \cdot d2 = 11,43$ cm < 15 cm (largura da peça inclinada) OK!