UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,ARQUITETURA
E URBANISMO

Departamento de Estruturas

EXERCÍCIOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

RAFAEL SIGRIST PONTES
MARTINS,BRUNO FAZENDEIRO
DONADON

PROF DR. NILSON TADEU MASCIA

CAMPINAS, MAIO - 2014

Sumário

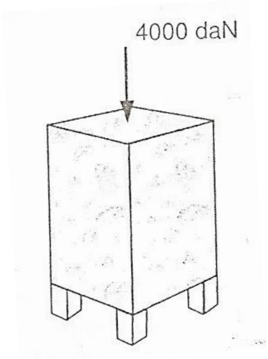
Observação: Esta apostila contem exercícios resolvidos com base na NBR 7190/1997- Norma Brasileira sobre Projetos em Estruturas de Madeira, e estes exercícios são de discussão no curso de CV 613- Estruturas de Madeira da FEC-Unicamp.

Compressão

1-) Uma caixa d'água pesando constantemente 4000 daN (considerar como carga permanente) será suportada por 4 pés feitos de peças de madeira com as fibras no sentido vertical. Dimensione os pés.

Dados:

- Madeira de Dicotiledônea C40;
- Umidade classe (2).



Solução

1. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$K_{mod_1} = 0{,}6$ (permanente, serrada)

$K_{mod_2} = 1{,}0$ (classe 2)

$K_{mod_3} = 0{,}8$ (2ª categoria)

$$K_{mod} = 0{,}6 * 1{,}0 * 0{,}8 = 0{,}48$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1{,}4}$$

Onde: $f_{c0,k} = 400\ daN/cm^2$ (dicotiledônea C40)

$$f_{c0,d} = \frac{0{,}48 * 400}{1{,}4} = 137{,}14\ daN/cm^2$$

2. Cálculo da Tensão Atuante

Para cada pé: $P_k = \frac{4000}{4} = 1000\ daN$

Força de cálculo: $P_d = \gamma_f * P_k = 1{,}4 * 1000 = 1400\ daN$

Tensão atuante de cálculo: $\sigma_d = \frac{P_d}{A} = \frac{1400}{x*x} = \frac{1400}{x^2}$

3. Verificação - Dimensionando para peça curta

$$\sigma_d \leq f_{c0,d}$$

$$\frac{1400}{x^2} \leq 137{,}14$$

$$\boldsymbol{x \geq 3{,}2\ cm} \longrightarrow \boldsymbol{x_{adotado} = 4\ cm}$$

Altura do pé para garantir que a peça seja curta ($\lambda \leq 40$)

$$\lambda = \frac{\mathrm{l_{fl}}}{\sqrt{\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{A}}}}$$

Para seção quadrada, pode-se simplificar para:

$$\lambda = 3{,}46 * \frac{\mathrm{l_{fl}}}{\mathrm{a}}$$

Para peça curta:

$$3{,}46 * \frac{\mathrm{l_{fl}}}{\mathrm{a}} \leq 40$$

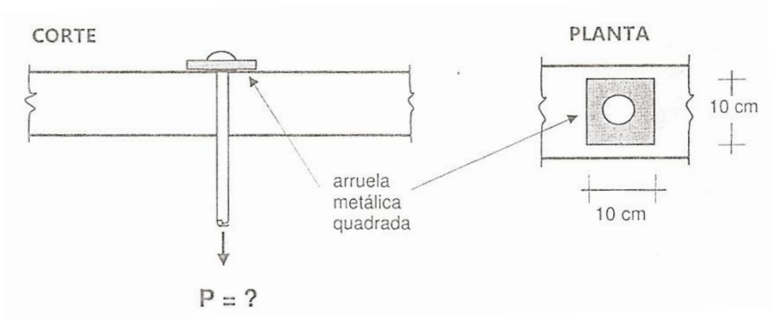
$$3{,}46 * \frac{\mathrm{l_{fl}}}{4} \leq 40 \longrightarrow l_{fl} \leq 46{,}2\ cm$$

$$\boldsymbol{l_{adotado} = 25\ cm}$$

2-) Verificar qual o máximo esforço P que se pode aplicar na barra da figura, considerando-se que é uma carga de longa duração.

Dados:

- Madeira: Conífera C30;
- Umidade classe (3).



<u>**Solução**</u>

1. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}7 * 0{,}8 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}448}$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1{,}4} = \frac{0{,}448 * 300}{1{,}4} = 96\ daN/cm^2$$

Como os esforços são perpendiculares as fibras, deve ser calculado $f_{c90,d}$:

$$f_{c90,d} = 0{,}25 * f_{c0,d} * \alpha_n$$

Onde $\alpha_n = 1{,}10$ (a' = 10cm)

$$f_{c90,d} = 0{,}25 * 96 * 1{,}1 = 26{,}4\ daN/cm^2$$

2. Cálculo da carga P

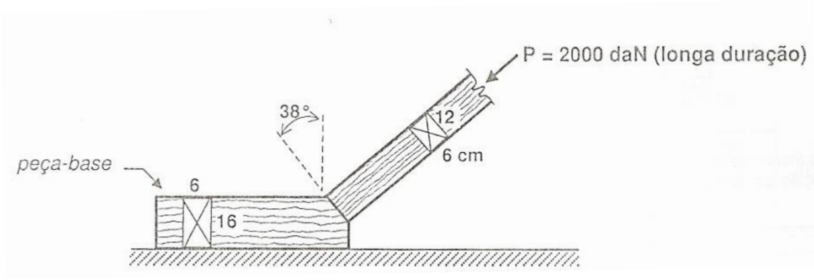
$$\sigma_d = \frac{P_d}{A} \le f_{c90,d}$$

$$\frac{1{,}4 * P_k}{10 * 10} \le 26{,}4 \longrightarrow P \le 1885{,}71\ daN$$

3-) Verificar se a peça-base suporta o carregamento.

Dados:

- Madeira: Dicotiledônea C20;
- Umidade classe (4).



<u>Solução</u>

1. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}7 * 0{,}8 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}448}$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1{,}4} = \frac{0{,}448 * 200}{1{,}4} = 64\ daN/cm^2$$

Como os esforços estão aplicados em uma direçã inclinada e relação, então, a tensão resistente ($f_{c\alpha,d}$) deve ser calculada:

$$f_{c\alpha,d} = \frac{f_{c0,d} * f_{c90,d}}{(f_{c0,d} * (\sin\alpha)^2) + (f_{c90,d} * (\cos\alpha)^2)}$$

Como a carga aplicada se encontra na extremidade da peça, então, $\alpha_n = 1{,}0$ e a fórmula da tensão resistente pode der simplificada para:

$$f_{c\alpha,d} = \frac{f_{c0,d}}{1+3*(\sin\alpha)^2}$$

$$f_{c\alpha,d} = \frac{64}{1+3*(\sin 38)^2} = \mathbf{29{,}95\ daN/cm^2}$$

2. Cálculo da Tensão Atuante

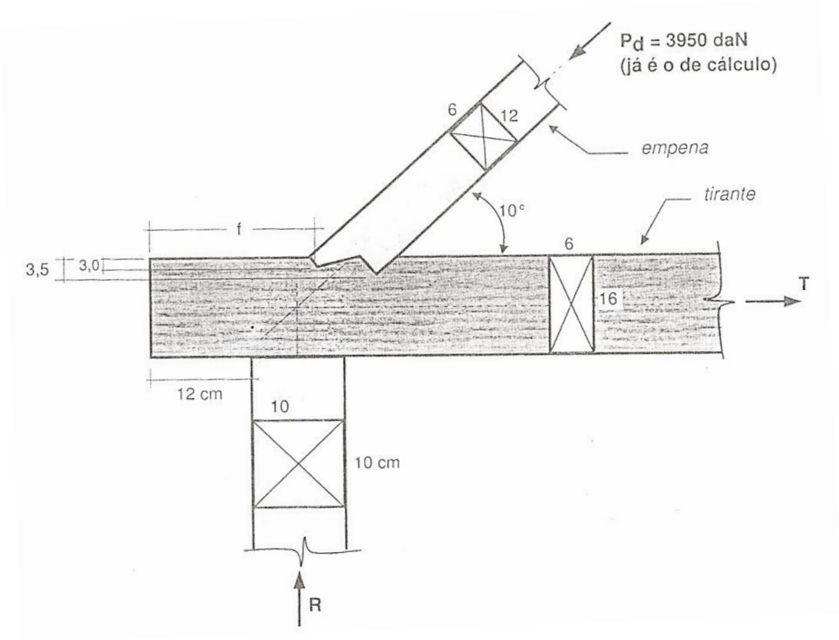
$$\sigma_d = \frac{P_d}{A} \leq f_{c\alpha,d}$$

$$\frac{1{,}4*2000}{6*12} = 38{,}89\ \frac{daN}{cm^2} > f_{c\alpha,d} \longrightarrow \text{Não suporta!}$$

4-) Para o nó de apoio de uma treliça, conforme figura, verificar todas as situações críticas de compressão, segundo a NBR 7190/97.

Dados:

- Madeira: Dicotiledônea C30;
- Umidade classe (1);

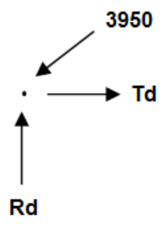


Solução

1. Determinação dos esforços

$$Td = 3950 * \cos 10° = 3890\ daN$$

$$Rd = 3950 * \sin 10° = 685{,}91\ daN$$



2. Compressão paralela às fibras na peça de apoio

2.1. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}7 * 1{,}0 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}56}$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1,4} = \frac{0,56 * 300}{1,4} = 120 \frac{daN}{cm^2}$$

2.2. Cálculo da Tensão Atuante

$$\sigma_d = \frac{R_d}{A} = \frac{685,91}{10 * 6} = 11,43 \frac{daN}{cm^2} < f_{c0,d}$$

3. Compressão normal às fibras no tirante

3.1. Cálculo da Tensão Resistente

$$f_{c90,d} = 0,25 * f_{c0,d} * \alpha_n$$

Onde $\alpha_n = 1,10$ (a' = 10 cm e m > 7,5 cm):

$$f_{c90,d} = 0,25 * 120 * 1,1 = 33\ daN/cm^2$$

3.2. Cálculo da Tensão Atuante

$$\sigma_d = \frac{R_d}{A} = \frac{685,91}{10 * 6} = 11,43 \frac{daN}{cm^2} < f_{c90,d}$$

4. Compressão paralela às fibras na empena:

4.1. Cálculo da Tensão Atuante

$$\sigma_d = \frac{P_d}{A} = \frac{3950}{\left[\frac{3+3,5}{\cos 10°}\right] * 6} = 99,75 \frac{daN}{cm^2} < f_{c0,d}$$

5. Compressão Inclinada em relação às fibras no tirante:

5.1. Cálculo da Tensão Resistente

$$f_{c\alpha,d} = \frac{f_{c0,d} * f_{c90,d}}{(f_{c0,d} * (\sin \alpha)^2) + (f_{c90,d} * (\cos \alpha)^2)}$$

$$f_{c\alpha,d} = \frac{120 * 33}{(120 * (\sin 10°)^2) + (33 * (\cos 10°)^2)} = 111,16\ daN/cm^2$$

5.2. Cálculo da Tensão Atuante

$$\sigma_d = \frac{P_d}{A} = \frac{3950}{39,6} = 99,75 \frac{daN}{cm^2} < f_{c\alpha,d}$$

6. Conclusão

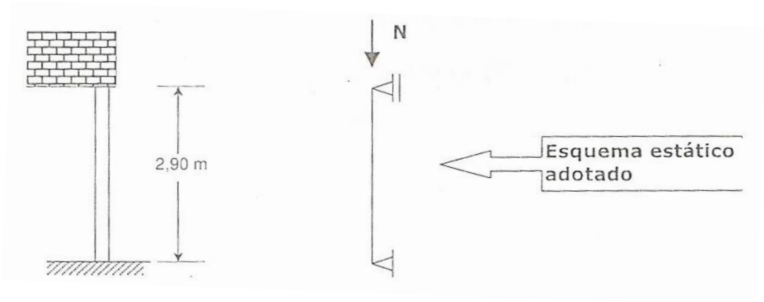
A peça está segura quanto à compressão

Instabilidade:

5-) Uma barra vertical quadrada (10X10) cm^2 serve de apoio em um sistema de sustentação da carga vertical de uma parede. Verifique se suportará o carregamento.

Dados:

- N é composta por: $\begin{cases} Carga\ permanente\ =\ 1200\ daN \\ Carga\ acidental\ principal, de\ longa\ duração\ =\ 560\ daN \\ Vento\ =\ 440\ daN \end{cases}$
- Madeira: Conífera C30,
- Umidade classe (1).



Solução

1. Calculo do índice de Esbeltes (λ)

$$\lambda = \frac{l_{fl}}{\sqrt{\frac{J}{A}}} = \frac{3{,}46 * l_{fl}}{a} = 3{,}46 * \frac{290}{10} \cong 100$$

Como 80 < λ < 140, se trata de uma peça esbelta.

2. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}7 * 1{,}0 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}56}$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1{,}4} = \frac{0{,}56 * 300}{1{,}4} = 120\ daN/cm^2$$

3. Cálculo das Tensões Atuantes

3.1. Esforço de Cálculo

$$N_d = \gamma_g * F_g + \gamma_q * F_{q1} + \gamma_q * \Psi_0 * F_{q2}$$

Onde Ψ_0 = 0,5 (pressão dinâmica do vento)

$$N_d = 1{,}4 * 1200 + 1{,}4 * 560 + 1{,}4 * 0{,}5 * 440 = 2772\ daN$$

3.2. Tensão Atuante proveniente da carga axial

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{2772}{10 * 10} = 27{,}72\ daN/cm^2$$

3.3. Tensão Atuante proveniente da flexão

3.3.1. Carga crítica

$$Fe = \frac{\pi^2 * E_{c0,ef} * I}{{l_{fl}}^2}$$

Onde $E_{c0,ef} = K_{mod} * E_{c0,m} = 0{,}56 * 145000 = 81200$

$$Fe = \frac{\pi^2 * 81200 * (\frac{10*10^3}{12})}{290^2} = 7941{,}06\ daN$$

3.3.2. Excentricidade inicial

$$e_i = \frac{h}{30} = \frac{10}{30} = 0{,}33\ cm$$

3.3.3. Excentricidade acidental

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = \frac{290}{300} = 0{,}97\ cm$$

3.3.4. Excentricidade suplementar de primeira ordem

$$e_c = (e_{ig} + e_a) * \left\{exp\left(\frac{\emptyset * [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) * \mathrm{N_q}]}{Fe - [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) * \mathrm{N_q}]}\right) - 1\right\}$$

Onde: e_{ig} = 0 (não há excentricidade inicial proveniente de carga permanente)

φ = 0,8 (carga permanente ou de longa duração e classe 1)

carga acidental principal: Ψ_1 = 0,6 e Ψ_2 = 0,4

Substituindo os valores de carga permanente e acidental principal:

$$e_c = 0{,}25\ cm$$

3.3.5. Excentricidade efetiva de primeira ordem

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c = 0{,}33 + 0{,}97 + 0{,}25 = 1{,}55\ cm$$

3.3.6. Excentricidade de cálculo

$$e_d = e_{1,ef} * \left(\frac{Fe}{Fe - N_d}\right)$$

$$e_d = 1{,}55 * \left(\frac{7941{,}06}{7941{,}06 - 2772}\right) = 2{,}38\ cm$$

3.3.7.Tensão de atuante

$$M_d = N_d * e_d = 2772 * 2{,}38 = 6589{,}22\ daNcm$$

$$\sigma_{Md} = \frac{M_d}{I} * y = \frac{6589{,}22}{\left({10^4}/{12}\right)} * 5 = 39{,}54\ daN/cm^2$$

4. Verifica no Estado limite último

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\frac{27{,}72}{120} + \frac{39{,}54}{120} = 0{,}56 < 1$$

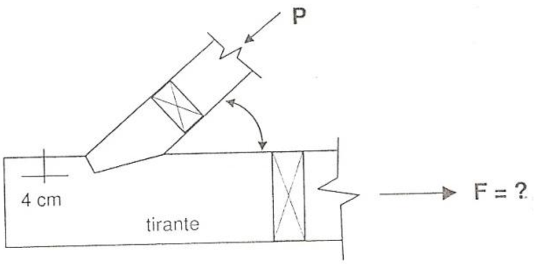
Portanto, a barra suportará o carregamento.

Tração:

6-) Qual a máxima carga F que o tirante, de área (16X8) cm^2, suporta?

Dados:

- Madeira: Dicotiledônea C30;
- Umidade classe (1).



Solução

1. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0,7 * 1,0 * 0,8 = \mathbf{0,56}$$

$$f_{t0,d} = K_{mod} * \frac{f_{t0,k}}{\gamma_w} = \frac{K_{mod}}{\gamma_w} * \frac{f_{c0,k}}{0,77} = \frac{0,56 * 300}{1,8 * 0,77} = 121,21\ daN/cm^2$$

2. Cálculo da Tensão Atuante:

$$\sigma_d = \frac{F_d}{A} \leq f_{t0,d}$$

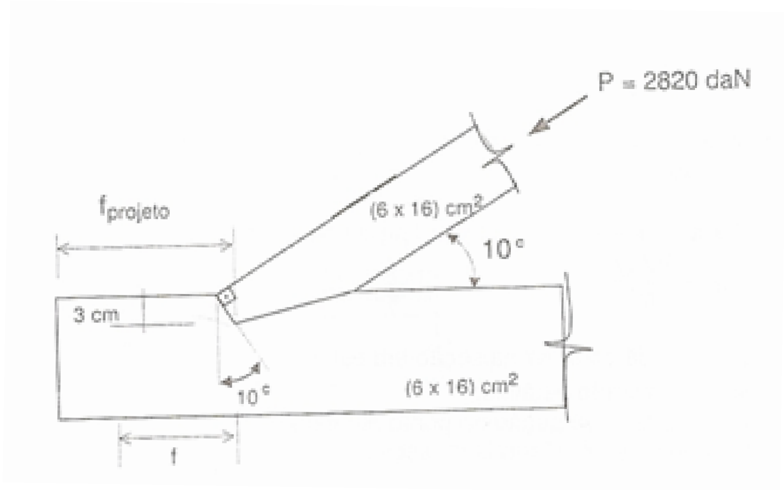
$$\frac{1,4*F}{8*(16-4)} \leq 121,21 \longrightarrow \qquad \boldsymbol{F = 8311,69\ daN}$$

Cisalhamento:

7-) Para o nó de apoio de uma treliça, determinar o valor de "f" necessário para suportar a força de 2820 daN, de longa duração, que está atuando na empena.

Dados:

- Madeira: Dicotiledônea C30;
- Umidade classe (1);



Solução

1. **Cálculo da Tensão Resistente**

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}7 * 1{,}0 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}56}$$

$$f_{v0,d} = \frac{K_{mod} * f_{v0,k}}{1{,}8} = \frac{0{,}56 * 50}{1{,}8} = 15{,}56\ daN/cm^2$$

2. **Cálculo da Tensão Atuante**

$$P_d = \ 4{,}4 * P = 1{,}4 * 2820 = 3948\ daN$$

$$\tau_d = \frac{P_d * \cos 10°}{A} \leq f_{t0,d}$$

$$\frac{3948 * \cos 10°}{6 * f} \leq 15{,}56 \longrightarrow \qquad \boldsymbol{f \geq 41{,}65}$$

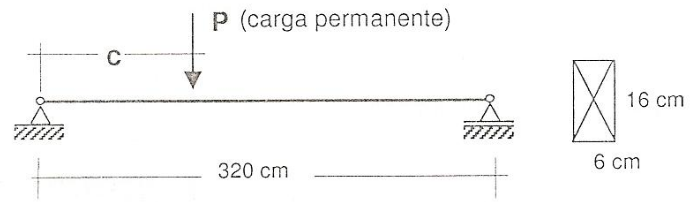
8-) Determinar o máximo valor da carga permanente P, para as seguintes posições “c” da carga:

a) c = meio do vão

b) c = 20 cm

Dados:

- Madeira: Dicotiledônea C40;
- Umidade classe (1);

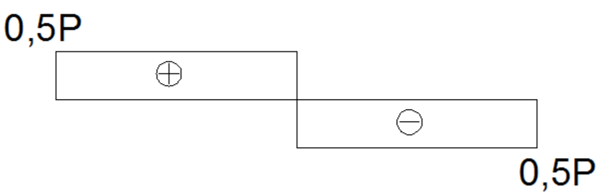


<u>Solução</u>

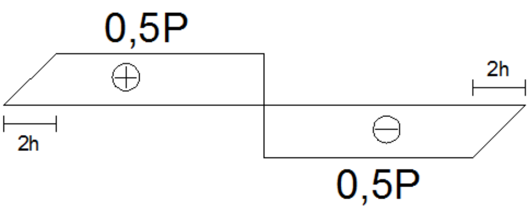
a) Verificando para a carga no meio do vão.

1. Diagrama de cortante

Sem redução:



Com redução:



$$2.h = 2 * 16 = 32\ cm < c = 160cm$$

Portanto, a cortante reduzida característica será: $V_{red,k} = 0{,}5 * P$

2. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}6 * 1{,}0 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}48}$$

$$f_{v0,d} = \frac{K_{mod} * f_{v0,k}}{1,8} = \frac{0,48 * 60}{1,8} = 16\ daN/cm^2$$

3. Cálculo da Tensão Atuante

$$\tau_d = \frac{V * M_s}{b * I}$$

Para seção retangular, pode-se reduzir esta expressão para:

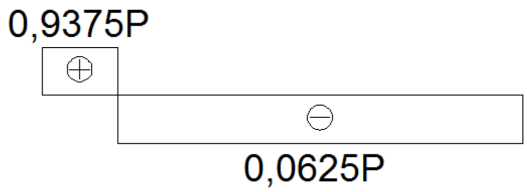
$$\tau_d = 1,5 * \frac{V_d}{A} \leq f_{v0,d}$$

$$1,5 * \frac{1,4 * 0,5 * P}{6 * 16} \leq 16 \longrightarrow \boldsymbol{P \leq 1462,86\ daN}$$

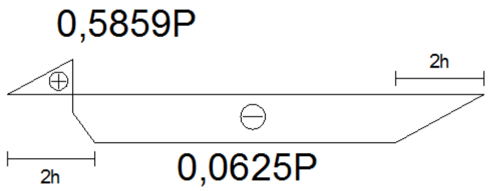
b) Verificando para carga posicionada a 20 cm do apoio

1. Diagrama de cortante

Sem redução:



Com redução:



$$2.h = 2 * 16 = 32\ cm > c = 20cm$$

Portanto, a cortante reduzida característica será: $V_{red,k} = \left(\frac{c}{2.h}\right) * V_{max} = 0,5859 * P$

2. Cálculo da Tensão Atuante

$$\tau_d = 1,5 * \frac{V_d}{A} \leq f_{v0,d}$$

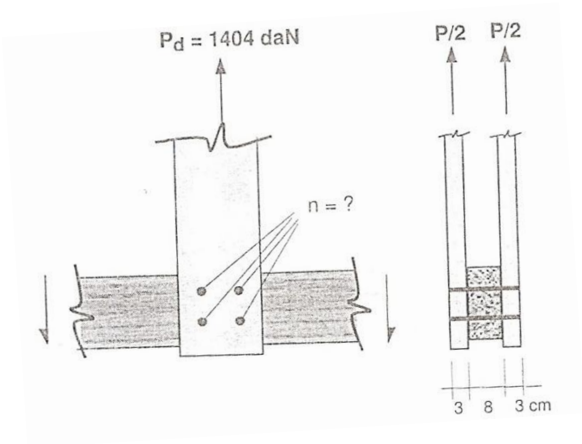
$$1,5 * \frac{1,4 * 0,5859 * P}{6 * 16} \leq 16 \longrightarrow \boldsymbol{P \leq 1248,38\ daN}$$

Ligações pregadas e parafusadas:

9-) Determinar a quantidade de parafusos para a ligação perpendicular abaixo.

Dados:

- Madeira: Conífera C30,
- Umidade classe (1).
- Parafusos: $f_{y,k}$ = 600 MPa.



solução

1. Diâmetro do pino

1.1. Determinar a espessura convencional da madeira (t)

$$t \leq \begin{Bmatrix} 3\ cm \\ \frac{8}{2} = 4\ cm \end{Bmatrix} \longrightarrow \quad t = 3\ cm$$

1.2. Calculo do diâmetro máximo do parafuso

$$d \leq \frac{t}{2} = 1{,}5\ cm \quad \rightarrow \quad d = \frac{1}{2}" = 1{,}27\ cm$$

2. Tensão resistente na madeira na peça horizontal

$$f_{c90,d} = 0{,}25 * f_{c0,d} * \alpha_e$$

Onde α_e = 1,68 (para d = 1,27 cm)

$$f_{c90,d} = 0{,}25 * \left(\frac{0{,}56 * 300}{1{,}4}\right) * 1{,}68 = 50{,}4\ daN/cm^2$$

3. Tensão de resistência no parafuso

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} = \frac{6000}{1{,}1} = 5454{,}55\ daN/cm^2$$

$$\beta = \frac{t}{d} = \frac{3}{1{,}25} = 2{,}4$$

$$\beta_{lim} = 1{,}25 * \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

Onde f_{ed} = 50,4 (resistência de cálculo de embutimento)

$$\beta_{lim} = 1{,}25 * \sqrt{\frac{5454{,}55}{50{,}4}} = 13{,}004$$

Como $\beta < \beta_{lim}$, se trata do caso de embutimento na madeira:

3.1. Força resistente em cada face de corte

$$R_{vd,1} = 0{,}4 * \frac{t^2}{\beta} * f_{c90,d}$$

$$R_{vd,1} = 0{,}4 * \frac{3^2}{2{,}4} * 50{,}4 = 75{,}60\ daN$$

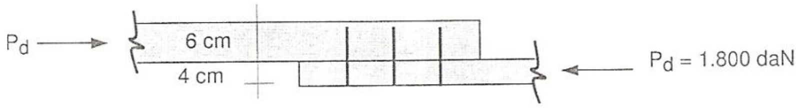
4. Número de parafusos necessários

$$n = \frac{P_d/2}{R_{vd,1}} = \frac{1404/2}{75{,}60} = 9{,}33 \quad \longrightarrow \quad n = 10\ parafusos\ de\ {}^{1}/_{2}\,"$$

10-) Calcular a quantidade de pregos para efetuar a ligação entre as peças com seções, respectivas, de (6X12) cm^2 e (4X12) cm^2, conforme a figura.

Dados:

- Madeira: Folhosa C40,
- Umidade classe (1).
- Pregos: $f_{y,k}$ = 600 MPa.



<u>**Solução**</u>

1. Determinar o diâmetro do prego

1.1. Valor de t (espessura convencional da madeira)

$$t \leq \begin{Bmatrix} 6\ cm \\ 4\ cm \end{Bmatrix} \quad \longrightarrow \quad t = 4\ cm = 40\ m$$

1.2. Calculo do diâmetro máximo do prego

$$d \leq \frac{t}{5} \Rightarrow d \leq \frac{4}{5} \qquad \therefore \quad d \leq 0{,}8\ cm$$

2. Comprimento do prego

Escolher bitolas de pregos a ser verificadas. Nomenclatura (10.d [10.mm] xL [mm]).

Bitolas escolhidas em catálogo para serem verificadas:

- (44X100);
- (44x94);
- (44x84)

$$l_{min} = t_1 + 12 * d = 40 + 12 * 4{,}4 = 92{,}8mm$$

$$(44\text{ X }100)\text{: } l_{prego} = 100 > \ l_{min} \quad \therefore\ pode\ ser\ usado$$

$$(44\text{ X }94)\text{: } l_{prego} = 94 > \ l_{min} \quad \therefore pode\ ser\ usado$$

$$(44\text{ X }84)\text{: } l_{prego} = 84\ < \ l_{min} \quad \therefore não\ pode\ ser\ usado$$

Será utilizado o prego (44 X 94) por ter comprimento maior que o mínimo requerido e menor que a soma das espessuras das peças. Portanto:

$$d_{ado} = 0{,}44\ cm < 0{,}8\ cm$$

3. Tensão resistente da madeira

$$f_{c0,d} = \frac{0{,}56 * 400}{1{,}4} = 160\ daN/cm^2$$

4. Tensão de resistência do prego

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} = \frac{6000}{1{,}1} = 5454{,}55\ daN/cm^2$$

$$\beta = \frac{t}{d} = \frac{4}{0{,}44} = 9{,}091$$

$$\beta_{lim} = 1{,}25 * \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

$$\beta_{lim} = 1{,}25 * \sqrt{\frac{5454{,}55}{160}} = 7{,}298$$

Como $\beta > \beta_{lim}$, se trata do caso de flexão do pino:

4.1. Força resistente em cada prego

$$R_{vd,1} = 0{,}625 * \frac{d^2}{\beta_{lim}} * f_{y,d}$$

$$R_{vd,1} = 0{,}625 * \frac{0{,}44^2}{7{,}298} * 5454{,}55 = 90{,}44\ daN$$

5. Número de pregos necessários

$$n = \frac{P_d}{R_{vd,1}} = \frac{1800}{90{,}44} = 19{,}90 \quad \longrightarrow \quad n = 20\ pregos$$

6. Posicionamento dos pregos

Serão distribuídos em 2 filas de 10 pregos. Como o número de pregos em linha excede a 8 é necessário considerar uma valor de resistência reduzido por pino suplementar.

$$n_0 = 8 + \frac{2}{3} * (n - 8)$$

$$10 = 8 + \frac{2}{3} * (n - 8) \quad \therefore \quad n = 11\ pregos/fila$$

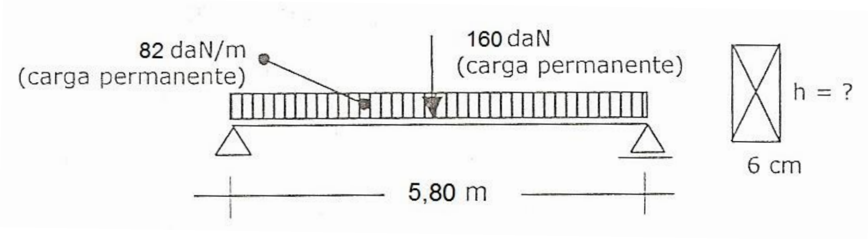
Serão usados efetivamente 22 pregos de (44 X 94)

Flexão simples:

11-) Calcular a altura necessária para uma viga, cuja largura é de 6cm, e está submetida a um carregamento permanente, uniformemente distribuída, de 82 daN/m, e a uma carga concentrada permanente de 160 daN, no ponto médio do vão de 5,80m, conforme a figura.

Dados:

- Madeira: Folhosa C40,
- Umidade classe (3).



Solução

1. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}6 * 0{,}8 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}384}$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1{,}4} = \frac{0{,}384 * 400}{1{,}4} = 109{,}71\ daN/cm^2$$

$$f_{c0,d} = 109{,}71\ daN/cm^2$$

2. Esforços Atuantes

Momento carga concentrada	Momento carga distribuída
$M_{máx,Pd} = \frac{P_d * l}{4} = \frac{1{,}4 * 160 * 580}{4}$	$M_{máx,qd} = \frac{q_d * l^2}{8} = \frac{1{,}4 * 0{,}82 * 580^2}{8}$
$\boldsymbol{M_{máx,Pd} = 32480\ daNcm}$	$\boldsymbol{M_{máx,Pd} = 48273{,}4\ daNcm}$

$$M_d = M_{máx,Pd} + M_{máx,qd} = 80753{,}4\ daNcm$$

3. Tensões Atuantes

$$\sigma_{cd} = \sigma_{td} = \sigma_{Md} = \frac{M_d * y}{I} = \frac{80753{,}4 * \frac{h}{2}}{6 * h^3/_{12}} = \frac{80753{,}4}{h^2}$$

4. Condição de segurança

$$\sigma_{cd} = \sigma_{td} \leq f_{c0,d} < f_{t0,d}$$

$$\frac{80753{,}4}{h^2} \leq 109{,}71$$

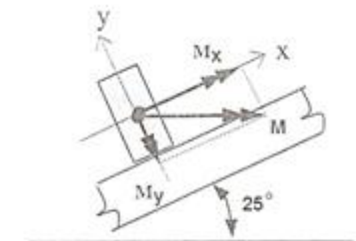
$$h \geq 27{,}13 \qquad \therefore \qquad \boldsymbol{h_{adotado} = 28\ cm}$$

Flexão oblíqua:

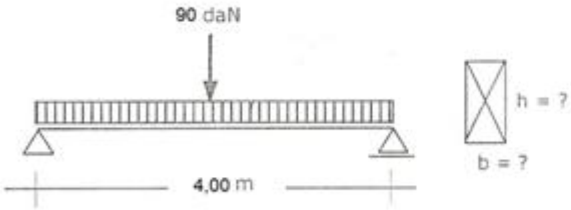
12-) Dimensione uma terça que está submetida a um carregamento permanente, uniformemente distribuído, de 75 daN/m, e a uma carga concentrada acidental de 90 daN, no ponto médio do vão de 4,00 m, conforme figura. Considerar uma inclinação do telhado correspondente a 25°.

Dados:

- Madeira: Folhosa C60,
- Umidade classe (1).



Obs.: A flecha de ponta dupla representa o momento.



Solução

1. Cálculo da Tensão Resistente

$$K_{mod} = K_{mod_1} * K_{mod_2} * K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = 0{,}7 * 1{,}0 * 0{,}8 = \mathbf{0{,}56}$$

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1{,}4} = \frac{0{,}56 * 600}{1{,}4} = 240\ daN/cm^2$$

$$f_{t0,d} = \frac{f_{c0,d}}{0{,}77} = 242{,}42\ daN/cm^2$$

2. Esforços Atuantes

Momento carga concentrada

$$M_{máx,q} = \frac{P * l}{4} = \frac{90 * 400}{4}$$

$$\boldsymbol{M_{máx,q} = 9000\ daNcm}$$

Momento carga distribuída

$$M_{máx,P} = \frac{q * l^2}{8} = \frac{0{,}75 * 400^2}{8}$$

$$\boldsymbol{M_{máx,Pd} = 15000\ daNcm}$$

2.1. Decomposição dos momentos nas direções x e y

$$\text{Carga acidental (q)}: \begin{cases} M_{q,x} = M_q * \cos 25° = 9000 * \cos 25° = 8156{,}77\ daNcm \\ M_{q,y} = M_q * \text{sen}\, 25° = 9000 * \text{sen}\, 25° = 3803{,}56\ daNcm \end{cases}$$

$$\text{Carga permanente (g)}: \begin{cases} M_{g,x} = M_q * \cos 25° = 15000 * \cos 25° = 13594{,}62\ daNcm \\ M_{g,y} = M_q * \text{sen}\, 25° = 15000 * \text{sen}\, 25° = 5339{,}27\ daNcm \end{cases}$$

2.2. Combinação na diração x

$$M_{x,d} = 1{,}4 * M_{g,x} + 1{,}4 * M_{q,x} = 30451{,}94\ daNcm$$

2.3. Combinação na diração y

$$M_{y,d} = 1{,}4 * M_{g,y} + 1{,}4 * M_{q,y} = 14199{,}87\ daNcm$$

3. Tensões Atuantes

Para uma seção transversal de (8cm x 12cm) adotada

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} = \frac{8 * 12^3}{12} = 1152\ cm^4$$

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{12 * 8^3}{12} = 512\ cm^4$$

3.1. Tensão atuante em x

$$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{x,d} * y}{I} = \frac{30451{,}94 * 6}{1152} = 158{,}6\ daN/cm^2$$

3.2. Tensão atuante em y

$$\sigma_{My,d} = \frac{M_{y,d} * y}{I} = -\frac{14199{,}97 * 4}{512} = 110{,}94\ daN/cm^2$$

4. Verificação no Estado limite último

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + K_m * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$K_m * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Onde Km = 0,5 para seções retangulares.

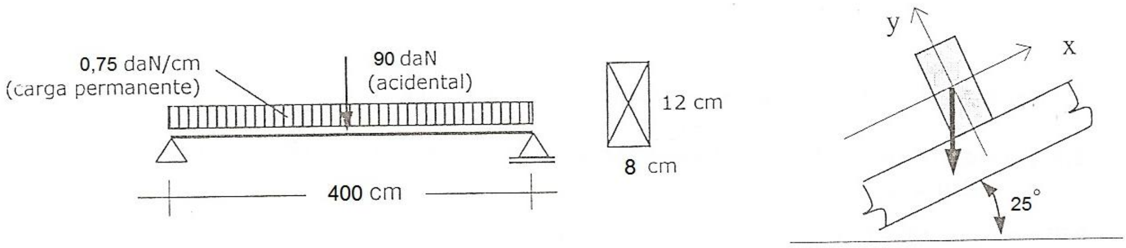
$$\left(\frac{158{,}6}{240} + 0{,}5 * \frac{110{,}94}{240}\right) = 0{,}89 \leq 1$$

$$\left(0{,}5 * \frac{158{,}6}{240} + \frac{110{,}94}{240}\right) = 0{,}79 \leq 1$$

13-) Verifique a terça que está submetida a um carregamento permanente, uniformemente distribuído, de 0,75 daN/cm, e a uma carga concentrada acidental de 90 daN, no ponto médio do vão de 400 cm, em local em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, conforme figura. Considerar uma inclinação do telhado correspondente a 25°.

Dados:

- Madeira: Folhosa C60;
- Umidade classe (1);



<u>Solução</u>

1. Determinar esforços nas direções x e y considerada

$$\text{Carga acidental (q)}: \begin{cases} q_x = 90 * \text{sen}\, 25° = 38{,}036\; daN \\ q_y = 90 * \cos 25° = 81{,}568\; daN \end{cases}$$

$$\text{Carga permanente (g)}: \begin{cases} g_x = 0{,}75 * \cos 25° = 0{,}317\; daN/cm \\ g_y = 0{,}75 * \text{sen}\, 25° = 0{,}680\; daN/cm \end{cases}$$

2. Cálculo do módulo de elasticidade efetivo

$$E_{c0,ef} = K_{mod} * E_{c0,m} = 0{,}56 * 245000 = 137200\; daN/cm^2$$

3. Verificação da flecha na direção x

$$I_y = \frac{12 * 8^3}{12} = 512\; cm^4$$

$$u_{ef,x} = u_{g,x} + u_{q,x}$$

$$u_{ef,x} = \frac{5 * g_x * l^4}{384 * E * I_y} + \frac{\psi_2 * \text{q}_\text{x} * \text{l}^3}{48 * E * I_y}$$

Onde ψ_2=0,2 (locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas).

$$u_{ef,x} = \frac{5 * 0{,}317 * 400^4}{384 * 137200 * 512} + \frac{0{,}2 * 38{,}036 * 400^3}{48 * 137200 * 512} = 1{,}64$$

Como:

$$u_{ef,x} = 1{,}64cm \;\leq\; \frac{l}{200} = \frac{400}{200} = 2$$

Então a verificação da flecha na direção x no Estado Limite de Serviço está verificada e está dentro do requerido em norma.

4. Verificação da flecha na direção y

$$I_x = \frac{8 * 12^3}{12} = 1152\ cm^4$$

$$u_{ef,y} = u_{g,y} + u_{q,y}$$

$$u_{ef,y} = \frac{5 * g_y * l^4}{384 * E * I_x} + \frac{\psi_2 * q_y * l^3}{48 * E * I_x}$$

Onde ψ_2=0,2 (locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas).

$$u_{ef,y} = \frac{5 * 0,68 * 400^4}{384 * 137200 * 1152} + \frac{0,2 * 81,568 * 400^3}{48 * 137200 * 1152} = 1,57$$

Como:

$$u_{ef,y} = 1,57\ cm\ \leq \frac{l}{200} = \frac{400}{200} = 2cm$$

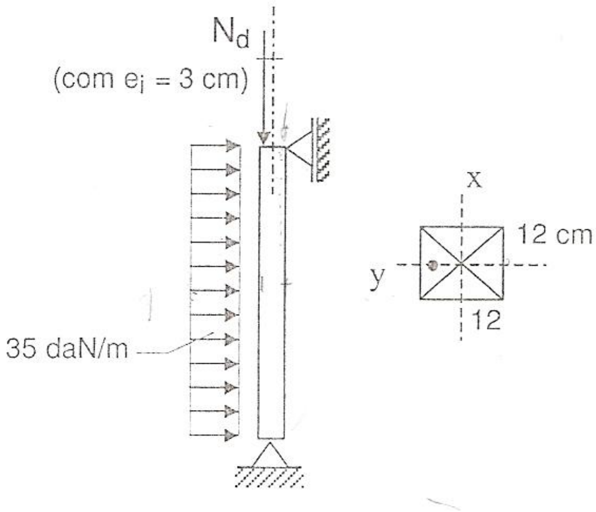
Portanto, a verificação da flecha na direção y no Estado Limite de Serviço está verificada e está dentro do requerido em norma.

Flexo-Compressão:

14-) Um pilar de madeira, com seção quadrada de lado 12 cm, conforme figura, está submetido a uma força concentrada axial composta de uma parcela permanente e outra devida ao vento, apresentando excentricidade de 3 cm na direção y. Sobre o pilar também está atuando uma carga distribuída acidental devida ao vento, horizontal, de 35 daN/m. Verificar se a seção é suficiente.

Dados:

- Carga vertical permanente: $N_{g,k}$ = 900 daN;
- Carga vertical proveniente do vento: $N_{q,k}$ = 514,29 daN;
- Comprimento do pilar = 3,6 m;
- Madeira: Folhosa C60;
- Umidade classe (1);



Solução

1. Combinação normais de esforços solicitantes no Estado limite Último

$$N_{c,d} = 1{,}4 * N_{g,k} + 0{,}75 * 1{,}4 * N_{q,k}$$

$$N_{c,d} = 1{,}4 * 900 + 0{,}75 * 1{,}4 * 514{,}29 = 1800\ daN$$

2. Verificação da Flexão Composta

2.1. Cálculo da Tensão Resistente

$$f_{c0,d} = \frac{K_{mod} * f_{c0,k}}{1{,}4} = \frac{0{,}56 * 600}{1{,}4} = 240\ daN/cm^2$$

2.2. Tensão Normal

$$\sigma_{Nc,d} = \frac{Nc,d}{A} = \frac{1800}{12 * 12} = 12{,}5\ daN/cm^2$$

2.3. Tensão de Flexão

2.3.1. Ação concentrada vertical

$$M_{axial,d} = N_{c,d} * e_i = 1800 * 3 = 5400\ daNcm$$

2.3.2. Ação variável horizontal

$$q_{hor,d} = 0,75 * 1,4 * 0,35 = 0,3675\ daN/cm$$

$$M_{hor,d} = \frac{q_d * l^2}{8} = \frac{0,3675 * 360^2}{8} = 5953,5\ daNcm$$

2.3.3. Momento de cálculo

$$M_{x,d} = M_{axial,d} + M_{hor,d}$$

$$M_{x,d} = 5400 + 5953,5 = 11353,5\ daNcm$$

2.3.4. Tensão de flexão

$$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{x,d} * y}{I} = \frac{11353,5 * 6}{12 * 12^3/_{12}} = 39,42\ daN/cm^2$$

2.4. Combinação de tensões - Verificação

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + K_m * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + K_m * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{12,5}{240}\right)^2 + 0,5 * \frac{39,42}{240} + \frac{0}{240} = 0,08 \leq 1 \quad \longrightarrow \quad ok$$

$$\left(\frac{12,5}{240}\right)^2 + \frac{39,42}{240} + 0,5 * \frac{0}{240} = 0,17 \leq 1 \quad \longrightarrow \quad ok$$

3. Verificação da Instabilidade

3.1. Calculo do indece de esbeltez (λ)

$$\lambda = \frac{3,46 * \mathrm{l_{fl}}}{\mathrm{a}} = 3,46 * \frac{360}{10} = 104 > 80$$

Como 80 < λ < 140, se trata de uma peça esbelta.

3.2. Cálculo das Tensões Atuantes

3.2.1. Tensão Atuante proveniente da carga axial

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{1800}{12 * 12} = 12{,}5\ daN/cm^2$$

3.2.2. Tensão Atuante proveniente da carga distribuida

$$\sigma^1{}_{Mx,d} = \frac{M_{hor,d}}{I} * y = \frac{5953{,}5}{12^3} * 6 = 20{,}67\ daN/cm^2$$

3.2.3. Tensões devido a excentricidade da carga axial

$$Fe = \frac{\pi^2 * E_{c0,ef} * I}{{l_{fl}}^2}$$

Onde $E_{c0,ef} = K_{mod} * E_{c0,m} = 0{,}56 * 245000 = 137200$

$$Fe = \frac{\pi^2 * 137200 * (\frac{12*12^3}{12})}{360^2} = 18055\ daN$$

$$e_i = 3\ cm = \frac{M_{1gd} + M_{1qd}}{N_d} = \frac{11353{,}51}{1800} = 6{,}31cm$$

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = \frac{360}{300} = 1{,}2\ cm$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) * \left\{exp\left(\frac{\emptyset * [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) * \mathrm{N_q}]}{Fe - [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) * \mathrm{N_q}]}\right) - 1\right\}$$

Onde: e_{ig} = 0 (não há excentricidade inicial proveniente de carga permanente)

φ = 0,8 (carga permanente ou de longa duração e classe 1

Fatores devido a pressão dinâmica de vento: Ψ_1 = 0,2 e Ψ_2 = 0

Substituindo os valores:

$$e_c = 0{,}22\ cm$$

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c = 6{,}31 + 1{,}2 + 0{,}22 = 7{,}71\ cm$$

$$e_d = e_{1,ef} * \left(\frac{Fe}{Fe - N_d}\right)$$

$$e_d = 7{,}71 * \left(\frac{18055}{18055 - 1800}\right) = 8{,}56\ cm$$

$$M_{1d} = N_{c,d} * e_d = 1800 * 8{,}56 = 15414{,}49\ daNcm$$

$$\sigma_{1d} = \frac{M_d}{I} * y = \frac{15414,49}{(^{12^4}/_{12})} * 6 = 53,52\ daN/cm^2$$

$$M_{qd} = \frac{q_{sd} * l^2}{8} = 5953,50\ daNcm$$

$$\sigma_{qd} = \frac{M_{qd}}{I} * y = \frac{5953,50}{(^{12^4}/_{12})} * 6 = 20,67\ daN/cm^2$$

$$\sigma_{Mx,d} = \sigma_{qd} + \sigma_{1d} = 20,67 + 53,52 = 74,19\ daN/cm^2$$

3.3. Verificação das combinações

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\frac{12,5}{240} + \frac{74,19}{240} = 0,36 < 1$$

Portanto, a barra suportará o carregamento.

Peças Compostas:

15-) Uma barra de treliça, de seção transversal integrada por duas peças de 5cm x 15cm, separados por espaçadores interpostos com 5cm de largura, está submetida a uma força de compressão paralela as fibras Nd = 35KN. A barra é biarticulada e a madeira utilizada é das coníferas, classe C25, de 2ª categoria e classe de umidade 1. Especificar qual distância entre espaçadores para que sejam atendidos os critérios da NBR 7190 para a um comprimento de 200cm.

Solução

1. Resistência de Cálculo e Elasticidade efetivo

$K_{mod,1}$= 0,7

$K_{mod,2}$= 1,0

$K_{mod,3}$= 0,8

γc=1,4

$$K_{mod} = K_{mod,1} \,.\, K_{mod,2} \,.\, K_{mod,3} = 0{,}7 \,.\, 1{,}0 \,.\, 0{,}8 = 0{,}56$$

$$f_{c0,d} = K_{mod} \,. \frac{f_{c0,k}}{\gamma_c} = 0{,}56 \,. \frac{250}{1{,}4} = 100\ daN/cm^2$$

$$E_{c0,ef} = K_{mod} \,. E_{c0,m} = 0{,}56 \,.85000 = 47600\ daN/cm^2$$

2. Verificação da Estabilidade local

$$a_1 \leq 3\,.\,b \ \Rightarrow 5 < 3\,.\,5 \ \Rightarrow ok$$

$L_1 = distância\ entre\ espaçadores\ interpostos$

$9\,.\,b \ \leq L_1 \leq 18\,.\,b \ \Rightarrow 9\,.\,5 \leq L_1 \ \leq 18\,.\,5 \ \Rightarrow 45\ cm \ \leq L_1 \ \leq 90\ cm$

$\therefore Adotado\ L_1 = 90\ cm$

3. Propriedades da seção composta

$$A_1 \ = \ b\,.\,h \ = \ 5\,.\,15 \ = \ 75\ cm^2$$

$$I_1 \ = \ \frac{b\,.\,h^3}{12} = \frac{5\,.\,15^3}{12} = 1406{,}25\ cm^4$$

$$I_2 \ = \ \frac{h\,.\,b^3}{12} = \frac{15\,.\,5^3}{12} = 156{,}00\ cm^4$$

$$a_1 = 5\ cm$$

$$I_x = n°_{peças} \,. I_1 = 2\,.\,1406{,}25 = 2812{,}50\ cm^4$$

$$I_y = n\,.\; I_2 + 2\,.A_1.a_1{}^2 = 2\,.\,156{,}00 + 2\,.\,75\,.\,5^2 = 4062{,}50\; cm^4$$

$$m = \frac{L}{L_1} = \frac{200}{90} = 2{,}22$$

$\propto_y$= $valor\ normativo\ segundo\ tipo\ de\ espaçador = 1{,}25$

$$\beta_l = \frac{I_2\,.\,m^2}{I_2\,.\,m^2 + \propto_y.\,I_y} = \frac{156{,}00\,.\,2{,}22^2}{156{,}00\,.\,2{,}22^2 + 1{,}25\,.4062{,}50} = 0{,}13$$

$$I_{y,ef} = \beta_l\,.\,I_y = 0{,}13\,.4062{,}50 = 535{,}86\; cm^4$$

4. Verificação do Estado limite último de instabilidade Global

$$\lambda = \frac{L}{\sqrt{\frac{I_{y,ef}}{A}}} = \frac{200}{\sqrt{\frac{535{,}86}{2\,.75}}} = 105{,}82 > 80\; \Longrightarrow Peças\ esbelta$$

$$e_a = \frac{L}{300} = \frac{200}{300} = 0{,}67\; cm$$

$$e_i = \frac{h}{30} = \frac{15}{30} = 0{,}50\; cm$$

$$e_c = 0{,}00 = valor\ adotado\ por\ falta\ de\ dados$$

$$e_{1,ef} = e_c + e_a + e_i = 0{,}00 + 0{,}67 + 0{,}50 = 1{,}17\; cm$$

$$F_E = \frac{\pi^2.E_{c0,ef}.I_{y,ef}}{L^2} = \frac{\pi^2.\,47600\,.\,535{,}86}{200^2} = 6293{,}60\; daN$$

$$e_d = e_{1,ef}\,.\left(\frac{F_E}{F_E - N_d}\right) = 1{,}17\,.\left(\frac{5228{,}86}{5228{,}86 - 3500}\right) = 2{,}63\; cm$$

$$M_d = N_d\,.\,e_d = 3500\,.3{,}53 = 9199{,}19\; daN\,.\,cm$$

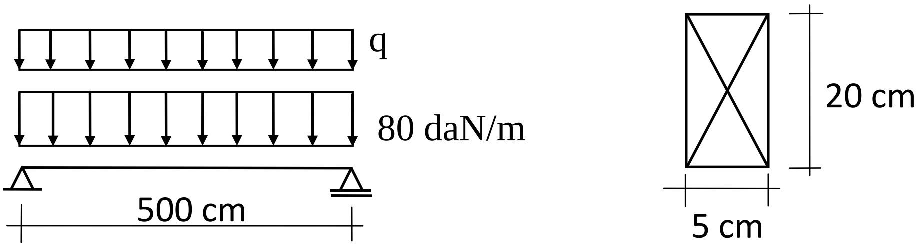
$$\frac{N_d}{A} + \frac{M_d\,.\,I_2}{I_{y,ef}\,.\,W_2} + \frac{M_d}{2\,.\,a_1\,.\,A_1}\,.\left(1 - n\,.\frac{I_2}{I_{y,ef}}\right) \le f_{c0,d}$$

$$\frac{3500}{150} + \frac{12349{,}85\,.156{,}00}{445{,}21\,.\frac{156{,}00\,.2}{5}} + \frac{12349{,}85}{2\,.\,5\,.75}\,.\left(1 - 2\,.\frac{156{,}00}{445{,}21}\right) = 99{,}81 \le 100{,}00 = f_{c0,d} \therefore ok$$

Estabilidade Lateral em vigas:

16-)Dada uma viga bi-articulada de madeira, de seção 5 cm x 20 cm, submetida a uma ação permanente distribuída de 80 daN/m (totalidade das ações permanentes) e a uma carga acidental distribuída (q). Determinar o máximo valor de q, considerando:

- madeira classe C-40;
- U = 15%;
- 2ª categoria;
- Local com predominância de pessoas;
- Materiais frágeis ligados à estrutura;



Solução

1. Características geométricas e resistências da viga

$K_{mod,1} = 0{,}7$

$K_{mod,2} = 1{,}0$

$K_{mod,3} = 0{,}8$

$K_{mod} = K_{mod,1} \,.\, K_{mod,2} \,.\, K_{mod,3} = 0{,}7 \,.\, 1{,}0 \,.\, 0{,}8 = 0{,}56$

$\gamma_C = 1{,}4$; $\gamma_V = 1{,}8$

$$f_{c0,d} = K_{mod} \,.\, \frac{f_{c0,k}}{\gamma_c} = 0{,}56 \,.\, \frac{400}{1{,}4} = 160\ daN/cm^2$$

$$f_{vd} = K_{mod} \,.\, \frac{f_{vk}}{\gamma_v} = 0{,}56 \,.\, \frac{60}{1{,}4} = 18{,}67\ daN/cm^2$$

$$E_{c0,ef} = K_{mod} \,.\, E_{c0,m} = 0{,}56 \,.195000 = 109200\ daN/cm^2$$

$$I = \frac{b \,.\, h^3}{12} = \frac{5 \,.\, 20^3}{12} = 3333{,}33$$

2. Verificação do Estado Limite Último - Cortante

$$\tau_d = \frac{3}{2} \,.\, \frac{V_D}{b \,.\, h} \leq f_{vd}$$

$$V_d = \gamma_w \,.\, \frac{Q_k \,.\, L}{2} = 1{,}4 \,.\, \frac{(0{,}80 + q).\,500}{2}$$

$$\frac{3}{2}\cdot\frac{1}{5\,.\,20}\,.\,1{,}4\,.\frac{(0{,}80+q).\,500}{2}\ \leq 18{,}67\ \Rightarrow 0{,}80+q\ \leq\frac{18{,}67}{1{,}4}\cdot\frac{2}{3}\,.\,5\,.\,20\,.\frac{2}{500}$$

$q_1\ \leq 4{,}44\ daN/cm$

3. Verificação do Estado Limite Último – Flexão Simples

$$\sigma_d=\frac{M_{sd}}{I}\cdot\frac{h}{2}\leq\ f_{c0,d}$$

$$M_{sd}=\gamma_w\,.\frac{Q_k\,.\,L^2}{8}=1{,}4\,.\frac{(0{,}80+q).\,500^2}{8}$$

$$1{,}4\,.\frac{(0{,}80+q).\,500^2}{8}\cdot\frac{1}{3333{,}33}\cdot\frac{20}{2}\leq\ f_{c0,d}\Rightarrow 0{,}80+q\ \leq\frac{160}{1{,}4}\cdot\frac{20}{2\,.\,3333{,}33}\cdot\frac{8}{500^2}$$

$q_2\leq 0{,}42\ daN/cm$

4. Verificação do Estado limite de Serviço

$$u_{ef}\leq\frac{L}{200}\ \Rightarrow\frac{5\,.\,Q_d\,.\,L^4}{384\,.\ E\,.\,I}\ \leq\frac{L}{200}$$

$$Q_d=Q_g+\psi_1.\,Q_q=0{,}80+0{,}6\,.\,q$$

$$\frac{5\,.\,(0{,}80+0{,}6\,.\,q).\,500^4}{384\,.\ 109200\,.\,3333{,}33}\leq\frac{500}{200}$$

$q_3\leq 0{,}53\ daN/cm$

5. Verificação da Estabilidade Lateral

$$\frac{h}{b}=\frac{20}{5}=4\ \ \therefore\ \beta_M=15{,}9$$

$L_1=Distância\ entre\ travamentos$

$$\frac{L_1}{b}=100$$

$$\frac{E_{c0,ef}}{\beta_M\cdot f_{c0,d}}=\frac{109200}{15{,}9\,.\,160}=44{,}77$$

Como $\frac{L_1}{b}\ \geq\ \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M\cdot f_{c0,d}}$ então deve ser satisfeita a condição

$$\sigma_{c1,d}\leq\frac{E_{c0,ef}}{\beta_M\cdot\frac{L_1}{b}}$$

$$\sigma_{c1,d}=\frac{M_{sd}}{I}\cdot\frac{h}{2}=\ \gamma_w\,.\frac{Q_k\,.\,L^2}{8}\cdot\frac{h}{2\,.\,I}=1{,}4\,.\frac{(0{,}80+q).\,500^2}{8}\cdot\ \frac{20}{2\,.\,3333{,}33}$$

$$1{,}4\,.\frac{(0{,}80+q).500^2}{8}\cdot\ \frac{20}{2\,.3333{,}33}\leq\frac{109200}{15{,}9\,.\frac{500}{5}}$$

$q_4\leq -0{,}25\ daN/cm$

6. Análise dos valores de carga acidental obtidos

Comparando as verificações exigidas pela norma, verificou-se que o limitante do problema foi a estabilidade lateral da viga e como o resultado da carga acidental obtido foi negativa deve ser aplicado a viga um novo dimensionamento diminuindo o vão entre travamentos ou aumentando a largura da viga.