Universidade POSITIVO

Engenharia Civil
Prova Bimestral: 2 / 2º Semestre de 2020
Disciplina: Estruturas de Aço e Madeira II

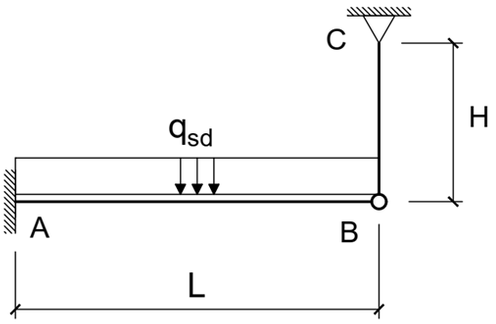
Código da Prova:
AM202-B2-5MA

Procedimento e Orientações:

1. Leia atentamente todas as instruções da prova.
2. Os dados **D1, D2, D3, D4 e D5** devem ser obtidos no site **www.jjscremin.com/provas** onde o aluno deve entrar com o código da prova (indicado no cabeçalho desta) e seu respectivo número de matrícula clicando no botão **"Buscar Dados"**.
3. Após obter as respostas para as 16 questões da prova o aluno deverá fotografar as páginas com o desenvolvimento dos cálculos e postar no AVA via item **"Postagem de AM202-B2-5MA"**;
4. Em seguida o aluno deverá postar as respostas finais para as 16 questões (inserindo somente números e utilizando "ponto" como separador de decimais) no site **www.jjscremin.com/provas.** Para tanto, o aluno deverá fazer/refazer a busca de dados com seu número de matrícula e código de prova, certificando-se de que seu nome apareça em vermelho no campo "Nome do Aluno" para em seguida preencher os 16 campos destinados às respostas, e por fim, clicar no botão **"Enviar Respostas"**.
5. **Para todos os cálculos nas questões utilize 5 algarismos significativos.**
6. Na correção dos valores numéricos das questões abertas será utilizada uma margem de erro de 5 por cento (para mais ou para menos).

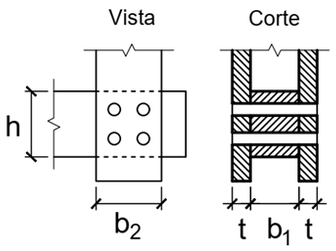
Problema A (0,625 ponto cada) :

Calcular qual a máxima carga, em valor característico (qsk), que pode incidir na viga "AB" de modo que as verificações de momentos, cortantes e flechas sejam todas atendidas bem como também a ligação no ponto "B" não venha a falhar.



- Combinações normais em ELU e combinação de longa duração em ELS;
- A edificação é uma biblioteca;
- Não considerar reduções de esforço cortante nas proximidades de apoios;
- Construção corrente sem materiais frágeis;
- A viga AB é contida lateralmente ao longo de todo seu comprimento;
- A ligação no ponto "B" é composta de 4 parafusos com resistência fyk = 240 MPa;
- Não é necessário dimensionar as peças da barra BC quanto à tração;
- Para efeito de cálculo de esforços e flechas considerar a barra BC como inextensível;
- Não é necessário verificar os espaçamentos na ligação;
- Madeira Dicotiledônea de primeira categoria em ambiente classe 2 de umidade;
- Na viga "AB" incidem somente cargas permanentes (kmod1 = 0,6);

Detalhe do Nó B



- Classe da Madeira D1 sendo:
1 para C20 2 para C30 3 para C40 4 para C60

- Diâmetro dos Parafusos D2 sendo:
1 para 1,25 cm 2 para 1,6 cm 3 para 1,9 cm 4 para 2,2 cm

- Demais dados Geométricos
L = D3 . 500 cm ; H = 300 cm;
h = D4 . 25 cm; b1 = D5 . 12.5 cm; b2 = D5 . 15 cm;
t = Dobro do diâmetro do parafuso instalado;

Q01 – Qual a máxima carga distribuída em valor caracerístico que pode ser aplicada na viga "AB" de modo que a verificação de momentos fletores ainda seja atendida? [em kN/m]?
Q02 – Qual a máxima carga distribuída em valor caracerístico que pode ser aplicada na viga "AB" de modo que a verificação de esforços cortantes ainda seja atendida? [em kN/m]?
Q03 – Qual a máxima carga distribuída em valor caracerístico que pode ser aplicada na viga "AB" de modo que a verificação de deslocamentos máximos (flechas) ainda seja atendida? [em kN/m]?
Q04 – Qual o valor do módulo elástico da viga "AB" relativo ao giro do eixo principal de inércia afetado pelo carregamento ? [em cm^3]

Q05 – Se a viga não fosse contida lateralmente ao longo de todo seu comprimento e tivesse travamentos somente nas extremidades "A" e "B", qual seria a máxima carga, em valor característico, possível de ser aplicada de modo a ainda poder dispensar a verificação de flambagem lateral (utilizar o critério de tensão solicitante previso na norma) ? [em kN/m]
Q06 – Qual o valor do esforço resistente por plano de corte (RVd1) relativo a peça central (horizontal) na ligação no ponto "B"? [em kN]
Q07 – Qual o valor do esforço resistente por plano de corte (RVd1) relativo à peças laterais (verticais) na ligação no ponto "B"? [em kN]
Q08 – Qual o valor da máxima solicitação vertical (solicitação axial na barra "BC") que pode incidir na ligação no ponto "B" de modo que esta não venha a falhar? [em kN]
Q09 – Qual a máxima carga distribuída em valor caracerístico que pode ser aplicada na viga "AB" de modo que a verificação da ligação no ponto "B" ainda seja atendida? [em kN/m]?
Q10 – Qual o valor do máximo momento solicitante que pode incidir na viga "AB" de modo que esta ainda atenda a solicitação ? [em kNm]?

$D1 = 1$ $D2 = 1$ $D3 = 1$ $D4 = 1$ $D5 = 0,6$

$$tipomad := \begin{bmatrix} 20\ MPa & 4\ MPa & 9,5\ GPa \\ 30\ MPa & 5\ MPa & 14,5\ GPa \\ 40\ MPa & 6\ MPa & 19,5\ GPa \\ 60\ MPa & 8\ MPa & 24,5\ GPa \end{bmatrix} \qquad tipoparaf := \begin{bmatrix} 1,25\ cm & 1,68 \\ 1,6\ cm & 1,52 \\ 1,9\ cm & 1,41 \\ 2,2\ cm & 1,33 \end{bmatrix}$$

$mad := submatrix(tipomad; D1; D1; 1; 3)$ $paraf := submatrix(tipoparaf; D2; D2; 1; 2)$

$fc0k := mad_{1} = 20\ MPa$ $d := paraf_{1} = 1,25\ cm$

$fv0k := mad_{2} = 4\ MPa$ $\alpha_E := paraf_{2} = 1,68$

$Ec0m := mad_{3} = 9500\ MPa$

$L := D3 \cdot 500\ cm = 500\ cm$ $b1 := D5 \cdot 12,5\ cm = 7,5\ cm$ $t := 2 \cdot d = 2,5\ cm$

$H := 300\ cm$ $b2 := D5 \cdot 15\ cm = 9\ cm$ $\gamma a1 := 1,1$

$h := D4 \cdot 25\ cm = 25\ cm$

Propriedades da Madeira:

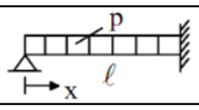
$kmod1 := 0,6$ Somente cargas permentes
$kmod2 := 1,0$ Ambiente classe 2 de umidade
$kmod3 := 1,0$ Dicotiledôena de 1ª categoria

$kmod := kmod1 \cdot kmod2 \cdot kmod3 = 0,6$

$fc0d := \frac{kmod \cdot fc0k}{1,4} = 0,8571\ \frac{kN}{cm^2}$ $fv0d := \frac{kmod \cdot fv0k}{1,8} = 0,1333\ \frac{kN}{cm^2}$ $Ec0ef := kmod \cdot Ec0m = 5700\ MPa$

Proprieades Geométricas da Viga e Máximas Solicitações:

$Ix := \frac{b1 \cdot h^3}{12} = 9765,625\ cm^4$ $Wx := \frac{b1 \cdot h^2}{6} = 781,25\ cm^3$ $Ag := b1 \cdot h = 187,5\ cm^2$

	$\frac{3}{554}\frac{pL^4}{EI}$	0,422 L	$\frac{pL^4}{48EI}(-2\alpha^4 + 3\alpha^3 - \alpha)$

$Msd_max := \frac{1,4 \cdot qsk \cdot L^2}{8}$ $Vsd_max := \frac{5}{8} \cdot 1,4 \cdot qsk \cdot L$ $Tsd_max := \frac{3}{8} \cdot 1,4 \cdot qsk \cdot L$

$\delta calc := \frac{3}{554} \cdot \frac{qsk}{Ec0ef \cdot Ix} \cdot L^4$ $G04 := \frac{Wx}{cm^3} = 781,25$

Verificação de Momentos:

$Mrd := Wx \cdot fc0d = 669,6429\ kN\ cm$ $\qquad$ $G10 := \frac{Mrd}{kN\ m} = 6,6964$

Igualando Msd com Mrd: $\frac{1,4 \cdot qsk \cdot L^2}{8} = Wx \cdot fc0d$

$qsk_mom := \frac{Wx \cdot fc0d \cdot 8}{1,4 \cdot L^2} = 1,5306\ \frac{kN}{m}$ $\qquad$ $G01 := \frac{qsk_mom}{\frac{kN}{m}} = 1,5306$

Verificação de Cortantes:

$Vrd := \frac{2}{3} \cdot Ag \cdot fv0d = 16,6667\ kN$

Igualando Vsd com Vrd: $\frac{5}{8} \cdot 1,4 \cdot qsk \cdot L = \frac{2}{3} \cdot Ag \cdot fv0d$

$qsk_cor := \frac{2}{3} \cdot \frac{Ag}{1,4} \cdot \frac{fv0d}{L} \cdot \frac{8}{5} = 3,8095\ \frac{kN}{m}$ $\qquad$ $G02 := \frac{qsk_cor}{\frac{kN}{m}} = 3,8095$

Verificação de Flecha:

$\delta limite := \frac{L}{200} = 2,5\ cm$

Igualando δcalc com δlimite : $\frac{3}{554} \cdot \frac{qsk}{Ec0ef \cdot Ix} \cdot L^4 = \frac{L}{200}$

$qsk_flecha := \frac{554 \cdot Ec0ef \cdot Ix \cdot L}{200 \cdot 3 \cdot L^4} = 4,1117\ \frac{kN}{m}$ $\qquad$ $G03 := \frac{qsk_flecha}{\frac{kN}{m}} = 4,1117$

Máxima carga para que não ocorra instabilidade lateral:

$\beta_M := \frac{1}{0,26 \cdot \pi} \cdot \frac{4}{1,4} \cdot \frac{\left(\frac{h}{b1}\right)^{\frac{3}{2}}}{\left(\frac{h}{b1} - 0,63\right)^{\frac{1}{2}}} = 12,9472$ $\qquad$ $\sigma c1d := \frac{Ec0ef}{\frac{L}{b1} \cdot \beta_M} = 0,6604\ \frac{kN}{cm^2}$

$\sigma sd = \frac{Msd}{Wx}$ $\qquad$ ---> $\qquad$ $\sigma sd = \frac{1,4 \cdot qsk \cdot L^2}{8 \cdot Wx}$

Igualando σsd com σc1d : $\frac{1,4 \cdot qsk \cdot L^2}{8 \cdot Wx} = \sigma c1d$

$qsk_instab := \frac{8 \cdot Wx \cdot \sigma c1d}{1,4 \cdot L^2} = 1,1792\ \frac{kN}{m}$ $\qquad$ $G05 := \frac{qsk_instab}{\frac{kN}{m}} = 1,1792$

Verificações da Ligação no Ponto B:

Verificação e peça central (horizontal):

$fed_horiz := 0,25 \cdot fc0d \cdot \alpha_E = 0,36 \ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad fyd := \frac{240 \ MPa}{1,1} = 21,8182 \ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad t_horiz := \frac{b1}{2} = 3,75 \ cm$

$\beta_horiz := \frac{t_horiz}{d} = 3$ $\quad \beta lim_horiz := 1,25 \cdot \sqrt{\frac{fyd}{fed_horiz}} = 9,7312$

$Rvd1_horiz_emb := 0,4 \cdot \frac{t_horiz^2}{\beta_horiz} \cdot fed_horiz = 0,675 \ kN$

$Rvd1_horiz_flex := 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta lim_horiz} \cdot fyd = 2,1895 \ kN$

$Rvd1_horiz := \text{if } \beta_horiz \le \beta lim_horiz = 0,675 \ kN$
$\quad Rvd1_horiz_emb$
else
$\quad Rvd1_horiz_flex$

$G06 := \frac{Rvd1_horiz}{kN} = 0,675$

Verificação e peças laterais (verticais)

$fed_vert := fc0d = 0,8571 \ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad t_vert := t = 2,5 \ cm$

$\beta_vert := \frac{t_vert}{d} = 2$ $\quad \beta lim_vert := 1,25 \cdot \sqrt{\frac{fyd}{fed_vert}} = 6,3066$

$Rvd1_vert_emb := 0,4 \cdot \frac{t_vert^2}{\beta_vert} \cdot fed_vert = 1,0714 \ kN$

$Rvd1_vert_flex := 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta lim_vert} \cdot fyd = 3,3785 \ kN$

$Rvd1_vert := \text{if } \beta_vert \le \beta lim_vert = 1,0714 \ kN$
$\quad Rvd1_vert_emb$
else
$\quad Rvd1_vert_flex$

$G07 := \frac{Rvd1_vert}{kN} = 1,0714$

$Rvd1 := \min([\ Rvd1_horiz \ \ Rvd1_vert\ ]) = 0,675 \ kN$ $\quad n_planos := 2$

$RVd_paraf := n_planos \cdot Rvd1 = 1,35 \ kN$ $\quad n_paraf := 4$

$TRd := n_paraf \cdot RVd_paraf = 5,4 \ kN$ $\quad G08 := \frac{TRd}{kN} = 5,4$

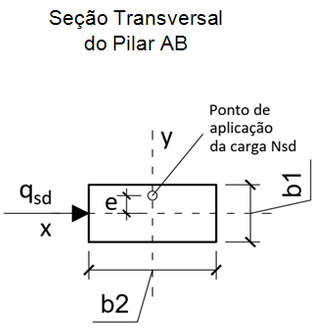
Igualando TSd com TRd: $\frac{3}{8} \cdot 1,4 \cdot qsk \cdot L = TRd$

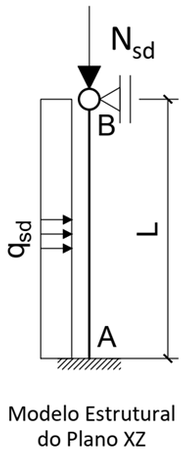
$qsk_lig := \frac{8 \cdot TRd}{3 \cdot 1,4 \cdot L} = 2,0571 \ \frac{kN}{m}$ $\quad G09 := \frac{qsk_lig}{\frac{kN}{m}} = 2,0571$

Problema B (0,625 ponto cada) :

Verificar se o pilar AB esboçado ao lado atende às verificações de Resistência e Estabilidade.

• Madeira Dicotiledônea, peças de primeira categoria e ambiente classe 2 de umidade ;
• Combinações normais em ELU;
• O pilar faz parte de uma biblioteca;
• Todas as cargas envolvidas são permanentes (kmod1=0,6)





Modelo Estrutural
do Plano XZ



Modelo Estrutural
do Plano YZ

- Classe da Madeira D1 sendo:
1 para C60 2 para C40 3 para C30 4 para C20

- L = D2 sendo:
1 para 220 cm 2 para 240 cm 3 para 260 cm 4 para 280 cm

Demais Dados Geométricos:
b1 = D4 . 25,0 cm; b2 = D5 . 20,0 cm; e = D3 . 4,00 cm;

Cargas Permanentes em Valor Característico:
Nsk = 20,0 kN; qsk = 4,00 kN/m

Q11 – O momento fletor solicitante relativo ao giro do eixo "x" é [em kN.cm]?
Q12 – O momento fletor solicitante relativo ao giro do eixo "y" é [em kN.cm]?
Q13 – O resultado da aplicação da expressão de verificação de resistência em flexão composta oblíqua na peça é [adimensional] ?
Q14 – Em termos do eixo principal de inércia mais defavorável, a barra "ab" pode ser classificada como uma peça:
1 - curta 2 - medianamente esbelta 3 - esbelta 4 - esbeltez acima de 140
OBS: para os eixos principais de inércia com esbeltez acima de 140 considerar relação "Tensão Solicitante" / "Tensão Resistente" como igual à 10000.
Q15 – O valor da relação "Tensão Solicitante" / "Tensão Resistente" na verificação de estabilidade do pilar "AB" em termos do giro do eixo "x" é [adimensional] ?
Q16 – O valor da relação "Tensão Solicitante" / "Tensão Resistente" na verificação de estabilidade do pilar "AB" em termos do giro do eixo "y" é [adimensional] ?

$D1 := 1$ $D2 := 1$ $D3 := 1$ $D4 := 1$ $D5 := 0,6$

$$tipomad := \begin{bmatrix} 60\ MPa & 8\ MPa & 24,5\ GPa \\ 40\ MPa & 6\ MPa & 19,5\ GPa \\ 30\ MPa & 5\ MPa & 14,5\ GPa \\ 20\ MPa & 4\ MPa & 9,5\ GPa \end{bmatrix} \qquad tiposL := \begin{bmatrix} 220\ cm \\ 240\ cm \\ 260\ cm \\ 280\ cm \end{bmatrix}$$

$mad := \text{submatrix}(tipomad; D1; D1; 1; 3)$ $listaL := \text{submatrix}(tiposL; D2; D2; 1; 1)$

$fc0k := mad_1 = 60\ MPa$ $L := listaL_1 = 220\ cm$

$Ec0m := mad_3 = 24500\ MPa$

$b1 := D4 \cdot 25\ cm = 25\ cm$

$b2 := D5 \cdot 20\ cm = 12\ cm$

$e := D3 \cdot 4\ cm = 4\ cm$

$Nsk := 20\ kN$ $qsk := 4\ \frac{kN}{m}$

Propriedades da Madeira:

$kmod1 := 0,6$ Somente cargas permentes

$kmod2 := 1,0$ Ambiente classe 2 de umidade

$kmod3 := 1,0$ Dicotiledôena de 1ª categoria

$kmod := kmod1 \cdot kmod2 \cdot kmod3 = 0,6$

$fc0d := \frac{kmod \cdot fc0k}{1,4} = 2,5714 \ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad Ec0ef := kmod \cdot Ec0m = 14700 \ MPa$

Solicitações:

$Ncsd := 1,4 \cdot Nsk = 28 \ kN$

$Msdx := Ncsd \cdot e = 112 \ kN \ cm$ $\quad G11 := \frac{Msdx}{kN \ cm} = 112$

$Msdy := \frac{1,4 \cdot qsk \cdot L^2}{8} = 338,8 \ kN \ cm$ $\quad G12 := \frac{Msdy}{kN \ cm} = 338,8$

Propriedades Geométricas :

$Ag := b1 \cdot b2 = 300 \ cm^2$

$Ix := \frac{b2 \cdot b1^3}{12} = 15625 \ cm^4$ $\quad Iy := \frac{b1 \cdot b2^3}{12} = 3600 \ cm^4$

$Wx := \frac{b2 \cdot b1^2}{6} = 1250 \ cm^3$ $\quad Wy := \frac{b1 \cdot b2^2}{6} = 600 \ cm^3$

$rx := \sqrt{\frac{Ix}{Ag}} = 7,2169 \ cm$ $\quad ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 3,4641 \ cm$

$Lox := 2 \cdot L = 4,4 \ m$ $\quad Loy := L = 2,2 \ m$

$\lambda x := \frac{Lox}{rx} = 60,968$ $\quad \lambda y := \frac{Loy}{ry} = 63,5085$ $\quad \lambda := \max([\ \lambda x \ \ \lambda y\ ]) = 63,509$

$tipo_peca_x := \text{if } \lambda x \le 40 \ 1 \text{ else if } \lambda x \le 80 \ 2 \text{ else if } \lambda x \le 140 \ 3 \text{ else } 4 = 2$

$tipo_peca_y := \text{if } \lambda y \le 40 \ 1 \text{ else if } \lambda y \le 80 \ 2 \text{ else if } \lambda y \le 140 \ 3 \text{ else } 4 = 2$

$G14 := \max([\ tipo_peca_x \ \ tipo_peca_y\ ]) = 2$

Verificação de Resistência :

$\sigma Ncsd := \frac{Ncsd}{Ag} = 0,093333 \ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad \sigma Msdx := \frac{Msdx}{Wx} = 0,0896 \ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad \sigma Msdy := \frac{Msdy}{Wy} = 0,5647 \ \frac{kN}{cm^2}$

$res1 := \left(\frac{\sigma Ncsd}{fc0d}\right)^2 + 0,5 \cdot \frac{\sigma Msdx}{fc0d} + \frac{\sigma Msdy}{fc0d} = 0,23833$ $\quad res2 := \left(\frac{\sigma Ncsd}{fc0d}\right)^2 + \frac{\sigma Msdx}{fc0d} + 0,5 \cdot \frac{\sigma Msdy}{fc0d} = 0,146$

$res := \max([\ res1 \ \ res2\ ]) = 0,23833$ $\quad G13 := res = 0,2383$

Verificação de Estabilidade do Eixo X:

$FEx := \frac{\pi^2 \cdot Ec0ef \cdot Ix}{Lox^2} = 1170,9322 \text{ kN}$ $hx := b1 = 25 \text{ cm}$

Peças Esbeltas ($80 < \lambda \leq 140$):

$e_a = \frac{L_0}{300} \geq \frac{h}{30}$ $e_i = \frac{M_{1d}}{N_{Sd}} \geq \frac{h}{30}$ $e_{ig} = \frac{M_{1gd}}{N_{gd}}$

$e_c = (e_{ig} + e_a) \cdot \left\{ exp\left[\frac{\phi[N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]} \right] - 1 \right\}$

Coeficientes de Fluência φ

Classes de Carregamento	Classes de Umidade			
	1	2	3	4
Permanente	0,8	0,8	2,0	2,0
Longa Duração	0,8	0,8	2,0	2,0
Média Duração	0,3	0,3	1,0	1,0
Curta Duração	0,1	0,1	0,5	0,5

$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c$ $F_E = \frac{\pi^2 \cdot E_{co,ef} \cdot I}{L_0^2}$ $M_{Sd} = N_{Sd} \cdot e_{1,ef} \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_{Sd}}\right)$

$\sigma_{Nsd} = \frac{N_{Sd}}{A}$ $\sigma_{Msd} = \frac{M_{Sd}}{I} \cdot y = \frac{M_{Sd}}{W}$ $\frac{\sigma_{Nsd}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{Msd}}{f_{cod}} \leq 1$

$\frac{hx}{30} = 0,8333 \text{ cm}$

$\frac{Lox}{300} = 1,4667 \text{ cm}$ $\frac{Msdx}{Ncsd} = 4 \text{ cm}$

$eax := \text{if } \frac{Lox}{300} \geq \frac{hx}{30} = 1,4667 \text{ cm}$
$\quad \frac{Lox}{300}$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \frac{hx}{30}$

$eix := \text{if } \frac{Msdx}{Ncsd} \geq \frac{hx}{30} = 4 \text{ cm}$
$\quad \frac{Msdx}{Ncsd}$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \frac{hx}{30}$

$M1gd := Msdx = 112 \text{ kN cm}$ $Ngd := Ncsd = 28 \text{ kN}$

$eigx := \frac{M1gd}{Ngd} = 4 \text{ cm}$

Classe 2 de umidade e cargas permanentes:

$\phi := 0,8$

$e_c = (e_{ig} + e_a) \cdot \left\{ exp\left[\frac{\phi[N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]} \right] - 1 \right\}$ $Nx := \frac{\phi \cdot (Nsk)}{FEx - (Nsk)} = 0,0139$

$ecx := (eigx + eax) \cdot (\exp(Nx) - 1) = 0,0765 \text{ cm}$

$e1x_ef := \text{if } \lambda x \leq 40 = 5,4667 \text{ cm}$
$\quad 0$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \text{if } \lambda x \leq 80$
$\quad\quad\quad eax + eix$
$\quad\quad \text{else}$
$\quad\quad\quad \text{if } \lambda x \leq 140$
$\quad\quad\quad\quad eax + eix + ecx$
$\quad\quad\quad \text{else}$
$\quad\quad\quad\quad 9999$

$Ncsd \cdot e1x_ef = 153,0667 \text{ kN cm}$ $\frac{FEx}{FEx - Ncsd} = 1,0245$

$Msdx_final := Ncsd \cdot e1x_ef \cdot \left(\frac{FEx}{FEx - Ncsd} \right) = 156,8166 \text{ kN cm}$

$\sigma_{Nsd} := \frac{Ncsd}{Ag} = 0,0933 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\sigma_{Msdx} := \frac{Msdx_final}{Wx} = 0,1255 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$\text{if } \lambda x \leq 140$
$\quad SporRx := \frac{\sigma_{Nsd} + \sigma_{Msdx}}{fc0d}$ $G15 := SporRx = 0,085084$
else
$\quad SporRx := 10000$

Verificação de Estabilidade do Eixo Y:

$FEy := \frac{\pi^2 \cdot Ec0ef \cdot Iy}{Loy^2} = 1079,1311 \text{ kN}$

$hy := b2 = 12 \text{ cm}$

Peças Esbeltas ($80 < \lambda \leq 140$):

$e_a = \frac{L_0}{300} \geq \frac{h}{30}$ $\quad e_i = \frac{M_{1d}}{N_{Sd}} \geq \frac{h}{30}$ $\quad e_{ig} = \frac{M_{1gd}}{N_{gd}}$

$e_c = (e_{ig} + e_a) \cdot \left\{ exp\left[\frac{\phi[N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]} \right] - 1 \right\}$

Coeficientes de Fluência φ

Classes de Carregamento	Classes de Umidade			
	1	2	3	4
Permanente	0,8	0,8	2,0	2,0
Longa Duração	0,8	0,8	2,0	2,0
Média Duração	0,3	0,3	1,0	1,0
Curta Duração	0,1	0,1	0,5	0,5

$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c$ $\quad F_E = \frac{\pi^2 \cdot E_{co,ef} \cdot I}{L_0^2}$ $\quad M_{Sd} = N_{Sd} \cdot e_{1,ef} \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_{Sd}}\right)$

$\sigma_{Nsd} = \frac{N_{Sd}}{A}$ $\quad \sigma_{Msd} = \frac{M_{Sd}}{I} \cdot y = \frac{M_{Sd}}{W}$ $\quad \frac{\sigma_{Nsd}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{Msd}}{f_{cod}} \leq 1$

$\frac{hy}{30} = 0,4 \text{ cm}$

$\frac{Loy}{300} = 0,7333 \text{ cm}$ $\quad \frac{Msdy}{Ncsd} = 0,121 \text{ m}$

$eay := \text{if } \frac{Loy}{300} \geq \frac{hy}{30} = 0,7333 \text{ cm}$
$\quad \frac{Loy}{300}$
$\quad \text{else}$
$\quad \frac{hy}{30}$

$M1gd := Msdy = 338,8 \text{ kN cm}$ $\quad Ngd := Ncsd = 28 \text{ kN}$

$eiy := \text{if } \frac{Msdy}{Ncsd} \geq \frac{hy}{30} = 12,1 \text{ cm}$
$\quad \frac{Msdy}{Ncsd}$
$\quad \text{else}$
$\quad \frac{hy}{30}$

$eigy := \frac{M1gd}{Ngd} = 12,1 \text{ cm}$

Classe 2 de umidade e cargas permanentes:

$\phi := 0,8$

$e_c = (e_{ig} + e_a) \cdot \left\{ exp\left[\frac{\phi[N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2)N_{qk}]} \right] - 1 \right\}$ $\quad N := \frac{\phi \cdot (Nsk)}{FEy - (Nsk)} = 0,015107$

$ecy := (eigy + eay) \cdot (\exp(N) - 1) = 0,1953 \text{ cm}$

$e1y_ef := \text{if } \lambda y \leq 40 \quad = 12,8333 \text{ cm}$
$\quad 0$
$\quad \text{else}$
$\quad \text{if } \lambda y \leq 80$
$\quad eay + eiy$
$\quad \text{else}$
$\quad \text{if } \lambda y \leq 140$
$\quad eay + eiy + ecy$
$\quad \text{else}$
$\quad 999999999$

$Ncsd \cdot e1y_ef = 359,3333 \text{ kN cm}$ $\quad \frac{FEy}{FEy - Ncsd} = 1,0266$

$Msdy_final := Ncsd \cdot e1y_ef \cdot \left(\frac{FEy}{FEy - Ncsd} \right) = 368,9052 \text{ kN cm}$

$\sigma_{Nsd} := \frac{Ncsd}{Ag} = 0,0933 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\quad \sigma_{Msdy} := \frac{Msdy_final}{Wy} = 0,6148 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

if $\lambda y \leq 140$

$SporRy := \frac{\sigma_{Nsd} + \sigma_{Msdy}}{fc0d}$

$G16 := SporRy = 0,2754$

else

$SporRy := 10000$