Universidade POSITIVO

Engenharia Civil
Avaliação Final: 1º Semestre de 2021
Disciplina: Sistemas Estruturais I

Código da Prova:
SE211-AF-N

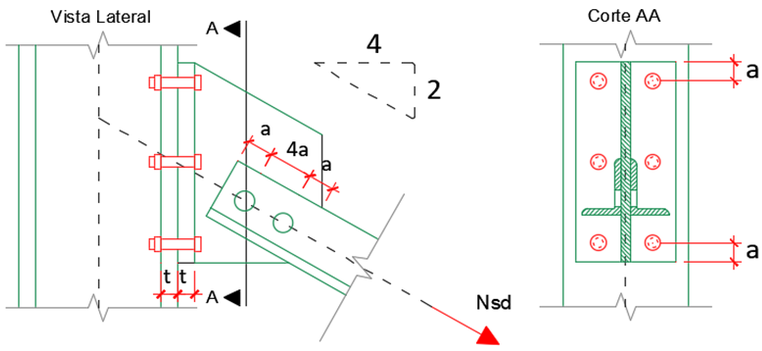
Procedimento e Orientações:

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 em **MANUSCRITO (não serão aceitos, para fins de revisão de prova, cálculos processados por meios digitais)** e postar no AVA via item **"Postagem de SE211-AF-N"**;
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 (0,3125 ponto cada) :

Para o detalhe esboçado ao lado proceder as verificações de:

• ESB, RSL e Cisalhamento de Bloco para as cantoneiras;
• Tração e Corte Isolados, Tração e Corte Simultâneos para os parafusos locados na chapa de solidarização com a mesa da coluna.



Dados:
- Aço AR350 nas chapas e todos os parafusos são ASTM A325 com diâmetro db = D1 (polegadas);
- Esforço Nsd = D2 . 300 kN (em valor de cálculo) e passante no centro geométrico (C.G.) da ligação;
- A ligação entre a chapa de solidarização e a mesa da coluna é do tipo contato;
- Dimensões da figura: a = D3 . 30 mm; t = 12,5 mm;
- Considerar que as cantoneiras trabalham em conjunto e que para este conjunto da dupla de cantoneiras o coeficiente Ct é 0,90;
- A Chapa Gusset entre as cantoneiras não precisa ser verificada e considerar uso de parafusos de rosca inteira;

Dimensões das Cantoneiras (Abas Iguais):
- Comprimento de aba : b = D4 . 76,0 mm;
- Espessura das abas : tc = D5 . 7,00 mm;

Q01 – O esforço de tração resistente ESB da dupla de cantoneiras é [em kN]?
Q02 – O esforço de tração resistente RSL da dupla de cantoneiras é [em kN]?
Q03 – O esforço de tração resistente ao Cisalhamento de Bloco da dupla de cantoneiras é [em kN]?
Q04 – O esforço de corte resistente de um único parafuso locado na chapa de solidarização com a mesa da coluna é [em kN]?
Q05 – O esforço de tração resistente de um único parafuso locado na chapa de solidarização com a mesa da coluna é [em kN]?
Q06 – O resultado da aplicação da expressão de verificação de tração e corte simultâneos no parafuso mais solicitado locado na chapa de solidarização com a mesa da coluna é [adim.] ?
Q07 – Considerando as verificações elencadas para a dupla de cantoneiras (ESB, RSL e Cisalhamento de Bloco) qual a relação solicitação / resistência do conjunto [adim.]?
Q08 – Considerando as verificações elencadas para os parafusos da ligação entre a chapa de solidarização e a mesa da coluna (tração e corte isolados e tração e corte simultâneos) qual a relação solicitação / resistência do conjunto de parafusos [adim.]?

$D1 = 0,875$ $D2 = 0,8$ $D3 = 0,8$ $D4 = 0,9$ $D5 = 1,1$

$E := 200\ GPa$ $fy := 35\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 45\ \frac{kN}{cm^2}$ $\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$

$fub := 825\ MPa$ $db := D1 \cdot 25,4\ mm = 22,225\ mm$ $Nsd := D2 \cdot 300\ kN$

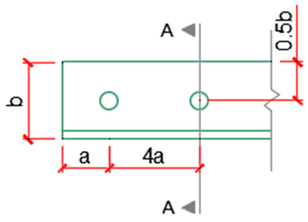
$a := D3 \cdot 30\ mm = 24\ mm$ $t := 12,5\ mm$ $b := D4 \cdot 76\ mm = 68,4\ mm$ $tc := D5 \cdot 7\ mm = 7,7\ mm$

$Ct := 0,9$

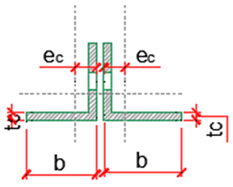
Propriedades Geométricas:

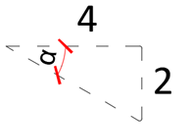
$dpad := db + 3,5\ mm = 25,725\ mm$

Detalhe das Pontas da Barras



Corte AA





$hip := \sqrt{4^2 + 2^2} = 4,4721$

$Ag1 := b \cdot tc + (b - tc) \cdot tc = 9,9407\ cm^2$

$An1 := Ag1 - dpad \cdot tc$

$Agv1 := (a + 4 \cdot a) \cdot tc = 9,24\ cm^2$

$Anv1 := Agv1 - 1,5 \cdot dpad \cdot tc = 6,2688\ cm^2$

$Ant1 := 0,5 \cdot b \cdot tc - 0,5 \cdot dpad \cdot tc = 1,6430\ cm^2$

$cos\alpha := \frac{4}{hip} = 0,8944$ $sen\alpha := \frac{2}{hip} = 0,4472$

Verificações das Cantoneiras:

$Rdt_ESB := \frac{2 \cdot Ag1 \cdot fy}{\gamma a1} = 632,6\ kN$ $G01 := \frac{Rdt_ESB}{kN} = 632,59$

$Rdt_RSL := \frac{2 \cdot Ct \cdot An1 \cdot fu}{\gamma a2} = 477,6\ kN$ $G02 := \frac{Rdt_RSL}{kN} = 477,59$

$Cts := 1,0$

$Rdt_CIS := 2 \cdot \min\left(\left[\ \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,6 \cdot Anv1 \cdot fu + Cts \cdot Ant1 \cdot fu)\ \ \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,6 \cdot Agv1 \cdot fy + Cts \cdot Ant1 \cdot fu)\ \right]\right) = 360,28\ kN$

$G03 := \frac{Rdt_CIS}{kN} = 360,28$

Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4\ A_b\ f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$Ab := \frac{\pi \cdot db^2}{4} = 3,8795\ cm^2$

$fub := 825\ MPa$

Especificação	f_{yb} MPa	f_{ub} MPa	Diâmetro d_b	
			mm	pol
ASTM A307	-	415	-	$1/2 \le d_b \le 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 \le d_b \le 36$	-
ASTM A325 [a]	635 560	825 725	$16 \le d_b \le 24$ $24 < d_b \le 36$	$1/2 \le d_b \le 1$ $1 < d_b \le 1½$
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \le d_b \le 36$	-
ASTM A490	895	1035	$16 \le d_b \le 36$	$1/2 \le d_b \le 1½$
ISO 4016 Classe 10.9	900	1000	$12 \le d_b \le 36$	-

[a] Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

Força resistente de corte por plano de corte nos parafusos:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 94,832\ kN$

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 1$

$Fv_Rd_por_paraf := n_planos \cdot Fv_Rd_por_plano = 94,832\ kN$

$G04 := \frac{Fv_Rd_por_paraf}{kN} = 94,832$

Verificação de Tração nos Parafusos:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,75\ A_b\ f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$Ft_Rd_por_paraf := \frac{0,75 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 177,81\ kN$

$G05 := \frac{Ft_Rd_por_paraf}{kN} = 177,81$

Verificação de Tração e Corte Simultâneos:

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

Número de parafuros:

$n_paraf := 6$

Solicitação de Tração em cada Parafuso:

$Ft_Sd_por_paraf := \frac{Nsd \cdot cos\alpha}{n_paraf} = 35,7771\ kN$

Solicitação de Corte em cada Parafuso:

$Fv_Sd_por_paraf := \frac{Nsd \cdot sen\alpha}{n_paraf} = 17,8885\ kN$

$Ft_Fv_simul := \left(\frac{Ft_Sd_por_paraf}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2 = 0,0761$

$G06 := Ft_Fv_simul = 0,076069$

Relações Solicitação / Resistência:

$Ntrd := \min\left(\left[\ Rdt_ESB\ \ Rdt_RSL\ \ Rdt_CIS\ \right]\right) = 360,28\ kN$

$G07 := \frac{Nsd}{Ntrd} = 0,6661$

$\frac{Ft_Sd_por_paraf}{Ft_Rd_por_paraf} = 0,2012$ $\quad$ $\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf} = 0,1886$

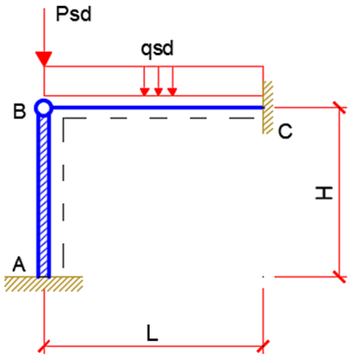
$G08 := \max\left(\left[\ \frac{Ft_Sd_por_paraf}{Ft_Rd_por_paraf}\ \ \frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\ \ Ft_Fv_simul\ \right]\right) = 0,2012$

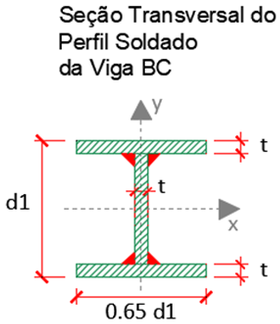
Problema B (0,3125 ponto cada) :

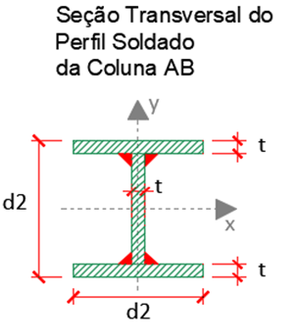
Para a viga BC no modelo estrutural ao lado proceder as verificações de:

- FLA e FLM para momentos fletores;
- Esforços cortantes;
- Deslocamentos máximos;

E também, analisar se a coluna AB atende a verificação de compressão centrada (considerando flambagem local e global).







Dados:
- Comprimento longitudinal da viga BC: L = D2 . 600 cm;
- Comprimento longitudinal da coluna AB: H = D3 . 320 cm;
- Altura do perfil da viga BC: d1 = D4 . 380 mm;
- Altura do perfil da coluna AB: d2 = D5 . 200 mm;
- Tipo de Aço : MR250;
- Espessura das mesas e almas de ambos perfis: t = 8 mm;
- Combinações Normais em ELU e Frequentes em ELS;
- Considerar que a viga BC pertence ao piso de uma biblioteca, sem paredes de alvenaria sobre ou sob a viga e que a mesma é contida lateralmente ao longo de todo comprimento longitudinal;
- Considerar simplificadamente, para determinação dos esforços internos, que a coluna AB é infinitamente rígida (sua deformação axial é nula) e vinculada somente nas extremidades (conforme indicado no desenho) sendo a vinculação válida para ambos eixos principais de inércia;
- Para os comprimentos de flambagem adotar os valores recomendados (e não os valores teóricos) para os coeficientes K;
- Tanto para a viga como para a coluna, o eixo Y, indicado no desenho da seção transversal, ficará assente ao plano do papel;

Cargas em valor característico:
- P1 = 450 kN : peso próprio de estrutura metálica (concentrada conforme indicado por Psd)
- q1 = 4,5 kN/m : peso próprio de estrutura metálica (distribuída conforme indicado por qsd)
- q2 = 22,0 kN/m : acidental de ocupação (distribuída conforme indicado por qsd)

Q09 – Qual o momento fletor resistente da viga BC para verificação FLA [em kNm]?
Q10 – Qual o momento fletor resistente da viga BC para verificação FLM [em kNm]?
Q11 – Qual o esforço cortante resistente da viga BC [em kN]?
Q12 – Qual a flecha elástica calculada para a viga BC considerando a combinação ELS pertinente [em mm]?
Q13 – Qual o valor do fator "Q" associado aos efeitos de flambagem local na coluna AB [adim.] ?
Q14 – Qual o valor do fator "χ" associado aos efeitos de flambagem global na coluna AB para o eixo mais desfavorável [adim.] ?
Q15 – Qual a força resistente de compressão centrada da coluna AB [em kN]?
Q16 – Dentre as verificações enumeradas abaixo qual apresentou a pior (ou seja o maior valor numérico) relação solicitação / resistência (no caso de deslocamentos máximos flecha calculada / flecha limite) ?
1 - FLA na viga BC
2 - FLM na viga BC
3 - Esforços Cortantes na viga BC
4 - Deslocamentos Máximos na viga BC
5 - Compressão centrada da coluna AB
OBS - Na questão Q16 responder com o número indicado ao lado da verificação que representa o pior caso.

$D1 = 0,875$ $D2 = 0,8$ $D3 = 0,8$ $D4 = 0,9$ $D5 = 1,1$

$L := D2 \cdot 6,0\ \text{m} = 4,8\ \text{m}$ $H := D3 \cdot 3,20\ \text{m} = 2,56\ \text{m}$ $d1 := D4 \cdot 380\ \text{mm} = 342\ \text{mm}$ $d2 := D5 \cdot 200\ \text{mm} = 220\ \text{mm}$

$E := 200\ \text{GPa}$ $fy := 25\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $fu := 40\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $t := 8\ \text{mm}$

$P1 := 450\ \text{kN}$ $q1 := 4,5\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $q2 := 22\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Propriedades Geométricas da Viga BC:

$d := d1 = 342\ \text{mm}$ $tf := t = 8\ \text{mm}$ $tw := t = 8\ \text{mm}$

$bf := 0,65 \cdot d1 = 222,3\ \text{mm}$ $hw := d - 2 \cdot tf = 326\ \text{mm}$

$Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 61,648\ \text{cm}^2$

$Ix := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 12231\ \text{cm}^4$ $Wx := \frac{Ix}{0,5 \cdot d} = 715,27\ \text{cm}^3$ $rx := \sqrt{\frac{Ix}{Ag}} = 14,086\ \text{cm}$

$Zx := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 806{,}54\ \text{cm}^3$

Combinações de Ações e Solicitações Máximas:

$\gamma g := 1{,}25 \qquad \gamma q := 1{,}5 \qquad \psi 0 := 0{,}8 \qquad \psi 1 := 0{,}7 \qquad \psi 2 := 0{,}8$

ELU - Combinação Normal: $S_d = \sum \gamma_{gi} G_i + \gamma_{q1} Q_1 + \sum \gamma_{qj} Q_j \Psi_{0j}$

COMB1 - q2 como ação principal

$q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 38{,}625\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \qquad P_elu := \gamma g \cdot P1 = 562{,}50\ \text{kN}$

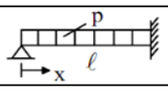
ELS – Combinação Frequente: $S = \sum G_i + \Psi_1 Q_1 + \sum Q_j \Psi_{2j}$

COMB1 - q2 como ação principal

$q_els := q1 + \psi 1 \cdot q2 = 19{,}900\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \qquad P_els := P1 = 450{,}00\ \text{kN}$

$Msd := \frac{q_elu \cdot L^2}{12} = 74{,}160\ \text{kN m} \qquad Vsd := \frac{q_elu \cdot L}{2} = 92{,}700\ \text{kN} \qquad Nsd := P_elu + Vsd = 655{,}20\ \text{kN}$

Verificação de Flecha:

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

$\delta calc := \frac{3 \cdot q_els \cdot L^4}{554 \cdot E \cdot Ix} = 2{,}3385\ \text{mm} \qquad G12 := \frac{\delta calc}{\text{mm}} = 2{,}3385 \qquad \delta limite := \frac{L}{350} = 1{,}3714\ \text{cm}$

Verificação de Momentos Resistentes - FLA e FLM:

FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_w}{t_w}$	$3{,}76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5{,}70\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$hw := d - 2 \cdot tf = 326\ \text{mm}$

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 40{,}75$

$\lambda_{pFLA} := 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 106{,}35$

$\lambda_{rFLA} := 5{,}70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 161{,}22$

$Mpl := Zx \cdot fy = 201{,}63\ \text{kN m}$

$My := Wx \cdot fy = 178{,}82\ \text{kN m}$

FLA / FLM

Tipo de Seção	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ Não aplicável à FLA (vide anexo H)

```
Tipo_de_Alma_Flex := if λ_FLA ≤ λ_pFLA        = "Compacta"
                       "Compacta"
                     else
                       if λ_FLA ≤ λ_rFLA
                         "Semicompacta"
                       else
                         "Esbelta"
```

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA} \quad = 183,30 \text{ kN m}$

$\frac{Mpl}{\gamma a1}$

else

$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})} \right]$

$G09 := \frac{Mrd_FLA}{\text{kN m}} = 183,3$

FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	b/t ver Nota 8	$0,38\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6

$\lambda_{FLM} := \frac{0,5 \cdot bf}{tf} = 13,8938$

$\lambda_{pFLM} := 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 10,748$

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0,6266$

$kc := \text{if } kc_calc > 0,76 \quad = 0,6266$

$0,76$

else

if $kc_calc < 0,35$

0

else

kc_calc

FLA / FLM

Tipo de Seção	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ Não aplicável à FLA (vide anexo H)

Para perfis soldados: $M_{cr} = \frac{0,90Ek_c}{\lambda^2}W_c$, $\lambda_r = 0,95\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$

com kc: $k_c = \frac{4}{\sqrt{h_w/t_w}}$ sendo $0,35 \le k_c \le 0,76$

$\lambda_{rFLM} := 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{0,7 \cdot fy}{kc}}} = 25,42$

$Mr := 0,7 \cdot fy \cdot Wx = 125,17 \text{ kN m}$

$Tipo_de_Mesa := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \quad = \text{"Semicompacta"}$

"Compacta"

else

if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$

"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$Wc := \frac{Wx}{2} = 357,64 \text{ cm}^3$

$Mrd_FLM := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \quad = 168,40 \text{ kN m}$

$\frac{Mpl}{\gamma a1}$

else

if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$

$\frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})} \right]$

else

$\frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^2 \cdot \gamma a1} \cdot Wc$

$G10 := \frac{Mrd_FLM}{\text{kN m}} = 168,4$

Cortante Resistente:

Tipo de Alma	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$V_{Rd} = 1,24\left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$V_{pl} = 0,60A_w f_y = 0,60dt_w f_y$

$\lambda = \frac{h_w}{t_w}$ $\lambda_p = 1,10\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$ $\lambda_p = 1,37\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$

k_v igual a 5,0 para almas sem enrijecedores transversais, para $\frac{a}{h_w} > 3$

ou para $\frac{a}{h_w} > \left[\frac{260}{h_w/t_w}\right]^2$ e $5 + \frac{5}{(a/h_w)^2}$ para os demais casos.

$Aw := d \cdot tw = 27,36 \text{ cm}^2$ $Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 410,4 \text{ kN}$ $kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 40,75$ $\lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69,5701$ $\lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86,6464$

$Tipo_de_Alma_CIS := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} = \text{"Compacta"}$
"Compacta"
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
"Semicompacta"
else
"Esbelta"

$Vrd := \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} = 373,09 \text{ kN}$
$\frac{Vpl}{\gamma a1}$
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
$\frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1}$
else
$1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$ $G11 := \frac{Vrd}{\text{kN}} = 373,09$

Propriedades Geométricas da Coluna AB:

$tfc := t = 8 \text{ mm}$ $twc := t = 8 \text{ mm}$ $hwc := d2 - 2 \cdot tfc = 204 \text{ mm}$ $bfc := d2 = 220 \text{ mm}$

$Agc := 2 \cdot bfc \cdot tfc + hwc \cdot twc = 51,520 \text{ cm}^2$

$Iyc := \frac{2 \cdot tfc \cdot bfc^3}{12} + \frac{hwc \cdot twc^3}{12} = 1420,6 \text{ cm}^4$ $ryc := \sqrt{\frac{Iyc}{Agc}} = 5,2511 \text{ cm}$ $Ky := 0,8$ $Ly := H = 2,56 \text{ m}$

$\lambda yc := \frac{Ky \cdot Ly}{ryc} = 39,002$

Fator Q:

Elemento AA - GRUPO 2:

$\lambda a_lim := 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 42,1436$ $\lambda a := \frac{hwc}{twc} = 25,5$

$hwc_ef := \text{if } \lambda a > \lambda a_lim = 20,4 \text{ cm}$ $hwc = 20,4 \text{ cm}$
$\min\left(\left[1,92 \cdot twc \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,34}{\lambda a} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) hwc\right]\right)$
else
hwc

$Aefc := Agc - (hwc - hwc_ef) \cdot tw = 51,520 \text{ cm}^2$ $Qa := \frac{Aefc}{Agc} = 1$ $G13 := Qa = 1$

Elemento AL - GRUPO 5:

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\lambda a}} = 0,7921$

$$kc := \begin{cases} 0,76 & \text{if } kc_calc > 0,76 \\ kc_calc & \text{else if } kc_calc < 0,35 \\ 0 & \text{else} \end{cases} = 0,76$$

$$\lambda s_lim := 0,64 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{fy}{kc}}} = 15,7809 \qquad \lambda s := \frac{0,5 \cdot bfc}{tfc} = 13,75 \qquad \lambda e := 1,17 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{fy}{kc}}} = 28,8495$$

$$Qs := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda s < \lambda s_lim \\ \min\left(\left[1,415 - 0,65 \cdot \lambda s \cdot \sqrt{\frac{fy}{kc \cdot E}} \quad 1 \right]\right) & \text{else if } \lambda s < \lambda e \\ \frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{fy \cdot \lambda s^2} & \text{else} \end{cases} = 1$$

$$Q := Qa \cdot Qs = 1 \qquad G13 := Q = 1$$

Fator χ e Verificação de Resistência:

Análise do eixo "y" (eixo de maior esbeltez):

$$\lambda pl := \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{Q \cdot fy}} = 88,8577 \qquad \lambda oy := \frac{\lambda yc}{\lambda pl} = 0,4389$$

$$\chi y := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda oy \le 1,5 \\ \frac{0,658^{\lambda oy^2}}{} & \text{else} \\ \frac{0,877}{\lambda oy^2} & \end{cases} = 0,9225 \qquad G14 := \chi y = 0,9225$$

$$Ncrd_calc := \frac{Q \cdot \chi y \cdot Agc \cdot fy}{\gamma a1} = 1080,2 \text{ kN} \qquad Ncrd := \begin{cases} 0 & \text{if } \lambda yc > 200 \\ Ncrd_calc & \text{else} \end{cases} = 1080,2 \text{ kN}$$

$$G15 := \frac{Ncrd}{kN} = 1080,2$$

Relações Solicitação/ Resistência(ou Flecha Calculada / Flecha Limite):

$$\frac{Msd}{Mrd_FLA} = 0,4046 \qquad \frac{Msd}{Mrd_FLM} = 0,4404 \qquad \frac{Vsd}{Vrd} = 0,2485 \qquad \frac{\delta calc}{\delta limite} = 0,1705 \qquad \frac{Nsd}{Ncrd_calc} = 0,6066$$

$$SporR := \max\left(\left[\frac{Msd}{Mrd_FLA} \quad \frac{Msd}{Mrd_FLM} \quad \frac{Vsd}{Vrd} \quad \frac{\delta calc}{\delta limite} \quad \frac{Nsd}{Ncrd_calc} \right]\right) = 0,6066$$

$$G16 := \text{if } gab2\left(SporR; \frac{Msd}{Mrd_FLA}\right) = 1 \quad = 5$$

1

else

if $gab2\left(SporR; \frac{Msd}{Mrd_FLM}\right) = 1$

2

else

if $gab2\left(SporR; \frac{Vsd}{Vrd}\right) = 1$

3

else

if $gab2\left(SporR; \frac{\delta calc}{\delta limite}\right) = 1$

4

else

if $gab2\left(SporR; \frac{Nsd}{Ncrd_calc}\right) = 1$

5

else

0,1

Resultados:

$D1 = 0,875$ $D2 = 0,8$ $D3 = 0,8$ $D4 = 0,9$ $D5 = 1,1$

$G01 = 632,59$	$R01 := V_1 = 632,59$	$N01 := gab(R01; G01) = 1$
$G02 = 477,5925$	$R02 := V_2 = 477,5925$	$N02 := gab(R02; G02) = 1$
$G03 = 360,283$	$R03 := V_3 = 360,2846$	$N03 := gab(R03; G03) = 1$
$G04 = 94,8317$	$R04 := V_4 = 94,8317$	$N04 := gab(R04; G04) = 1$
$G05 = 177,81$	$R05 := V_5 = 177,8104$	$N05 := gab(R05; G05) = 1$
$G06 = 0,076069$	$R06 := V_6 = 0,0761$	$N06 := gab(R06; G06) = 1$
$G07 = 0,66614$	$R07 := V_7 = 0,6045$	$N07 := gab(R07; G07) = 0$
$G08 = 0,20121$	$R08 := V_8 = 0,2012$	$N08 := gab(R08; G08) = 1$
$G09 = 183,30$	$R09 := V_9 = 183,304$	$N09 := gab(R09; G09) = 1$
$G10 = 168,40$	$R10 := V_{10} = 168,4015$	$N10 := gab(R10; G10) = 1$
$G11 = 373,09$	$R11 := V_{11} = 373,0901$	$N11 := gab(R11; G11) = 1$
$G12 = 2,3385$	$R12 := V_{12} = 13,714$	$N12 := gab(R12; G12) = 0$
$G13 = 1,0000$	$R13 := V_{13} = 1$	$N13 := gab(R13; G13) = 1$
$G14 = 0,92253$	$R14 := V_{14} = 0,9225$	$N14 := gab(R14; G14) = 1$

$G15 = 1080,2$ $\quad R15 := V_{15} = 1080,2081$ $\quad N15 := gab\,(R15\,;\,G15) = 1$

$G16 = 5,0000$ $\quad R16 := V_{16} = 0,6606$ $\quad N16 := gab\,(R16\,;\,G16) = 0$

$Acertos := N01 + N02 + N03 + N04 + N05 + N06 + N07 + N08 + N09 + N10 + N11 + N12 + N13 + N14 + N15 + N16$

$Nota := Acertos\,.peso = 4,0625$