Universidade POSITIVO

Engenharia Civil
Prova Substitutiva 1º Semestre de 2020
Disciplina: Estruturas de Aço e Madeira I

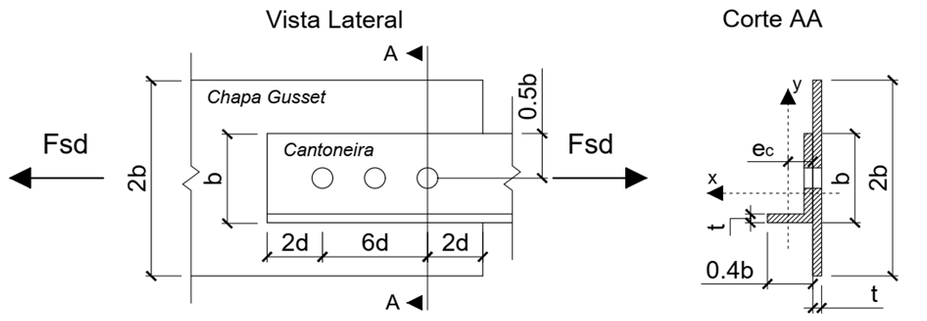
Código da Prova:
AM201-SB-5NA

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 AM201-SB-5NA"**;
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) :
Para a ligação por atrito esboçada ao lado deteminar o máximo valor da solicitação de cálculo Fsd possível de ser aplicada de modo que ainda sejam atendidas as verificações :

a) ESB, RSL e Cisalhamento de Bloco para a cantoneira;
b) RSL para a Chapa Gusset;
c) Corte nos parafusos;
d) Rasgamento de chapa e pressão de apoio;
e) Deslizamento de chapa (em ELS);



Dados:
- Aço MR250 nas chapas e parafusos ASTM A325 com diâmetro nominal d = D1 (polegadas);
- A deformação dos furos na ligação é uma limitação de projeto;
- Superfícies jateadas sem pintura e furos padrão;
- Para verificação de deslizamento de chapa considerar esforços solicitantes ELS de forma simplificada como sendo iguais à 70% da solicitação ELU;

Geometria:
b = D2 . 140 mm
t = D5 . 5 mm

Q01 – Qual a máxima solicitação "Fsd" (em valor de cálculo - ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação ESB na cantoneira ainda seja atendida [em kN] ?
Q02 – Qual a máxima solicitação "Fsd" (em valor de cálculo - ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação RSL na cantoneira ainda seja atendida [em kN] ?
Q03 – Qual a máxima solicitação "Fsd" (em valor de cálculo - ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação de Cisalhamento de Bloco na cantoneira ainda seja atendida [em kN] ?
Q04 – Qual a máxima solicitação "Fsd" (em valor de cálculo - ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação RSL na chapa Gusset ainda seja atendida (considerar Ct = 0,9 para esta chapa) [em kN] ?
Q05 – Qual a máxima solicitação "Fsd" (em valor de cálculo - ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação de corte dos parafusos ainda seja atendida [em kN] ?
Q06 – Qual a máxima solicitação "Nsd" (em valor de cálculo - ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação de rasgamento de chapa e pressão de apoio ainda seja atendida [em kN] ?
Q07 – Qual a máxima solicitação "Nsd" (em valor de cálculo - ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação de deslizamento de chapa ainda seja atendida [em kN] ?

$D1 = 0,625$ $D2 = 0,8$ $D3 = 0,6$ $D4 = 1,2$ $D5 = 0,8$

$\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$ $b := D2 \cdot 140\ mm$ $t := D5 \cdot 5\ mm = 4\ mm$ $d := D1 \cdot 25,4\ mm$

$E := 200\ GPa$ $fy := 25\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 40\ \frac{kN}{cm^2}$ $fub := 825\ MPa$

Verificações da Cantoneira:

ESB:

$Ag_u := (b - t) \cdot t + 0,4 \cdot b \cdot t = 6,112\ cm^2$

$Ntrd_ESB := \frac{Ag_u \cdot fy}{\gamma a1} = 138,91\ kN$

RSL Cantoneira:

$dpad := d + 3,5\ mm = 19,375\ mm$

$An := Ag_u - 1 \cdot dpad \cdot t = 5,337\ cm^2$

Cálculo do Ct:

$$ec := \frac{0,4 \cdot b \cdot t \cdot \frac{0,4 \cdot b}{2} + (b - t) \cdot t \cdot \frac{t}{2}}{0,4 \cdot b \cdot t + (b - t) \cdot t} = 0,7981\ cm$$

$Lc := 6 \cdot d = 9,525\ cm$

$Ct_calc := 1 - \frac{ec}{Lc} = 0,9162$

```
Ct := if  Ct_calc < 0,60    = 0,9
        0
      else
        if  Ct_calc > 0,90
          0,90
        else
          Ct_calc
```

RSL Chapa: $Ag_chapa := 2 \cdot b \cdot t = 8,96\ cm^2$

$An_chapa := Ag_chapa - 1 \cdot dpad \cdot t = 8,1850\ cm^2$

$Ntrd_RSL_chapa := \frac{0,9 \cdot An_chapa \cdot fu}{\gamma a2} = 218,27\ kN$

$Ae := Ct \cdot An = 4,8033\ cm^2$ $Ntrd_RSL := \frac{Ae \cdot fu}{\gamma a2} = 142,32\ kN$

CISALHAMENTO DE BLOCO:

$Agv := (2 \cdot d + 6 \cdot d) \cdot t = 5,0800\ cm^2$ $Cts := 1$

$Anv := Agv - 2,5 \cdot dpad \cdot t = 3,1425\ cm^2$

$Ant := 0,5 \cdot b \cdot t - 0,5 \cdot dpad \cdot t = 1,8525\ cm^2$

$Ntrd_CIS1 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fu \cdot Anv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 110,7556\ kN$

$Ntrd_CIS2 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fy \cdot Agv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 111,3333\ kN$

$Ntrd_CIS := \min([\ Ntrd_CIS1\ \ Ntrd_CIS2\ ]) = 110,7556\ kN$

$G01 := \frac{Ntrd_ESB}{kN} = 138,91$ $G02 := \frac{Ntrd_RSL}{kN} = 142,32$ $G03 := \frac{Ntrd_CIS}{kN} = 110,76$

$G04 := \frac{Ntrd_RSL_chapa}{kN} = 218,27$

Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

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

$Ab := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1,9793\ cm^2$

$fub = 82,5\ \frac{kN}{cm^2}$

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:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 48,3835\ kN$

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 1$ Quantidade de parafusos: $n_paraf := 3$

$Fv_Rd_total := n_planos \cdot n_paraf \cdot Fv_Rd_por_plano = 145,15\ kN$ $G05 := \frac{Fv_Rd_total}{kN} = 145,15$

Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2\, l_f\, t f_u}{\gamma_{a2}} \le \frac{2,4\, d_b\, t\, f_u}{\gamma_{a2}}$$

bf : borda de furo bc : borda de chapa

$l_bf_a_bf := 3 \cdot d - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} = 30,250\ mm$

$l_bf_a_bc := 2 \cdot d - \frac{(d + 1,5\ mm)}{2} = 23,062\ mm$

$lf := \min([\ l_bf_a_bf\ \ l_bf_a_bc\ ]) = 23,062\ mm$

$Fc_Rd1 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 32,800\ kN$ $Fc_Rd2 := \frac{2,4 \cdot d \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 45,156\ kN$

$Fc_Rd := n_paraf \cdot \min([\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ ]) = 98,400\ kN$ $G06 := \frac{Fc_Rd}{kN} = 98,400$

Verificação de Deslizamento de Chapa:

Como são utlizados furos padrão a verificação de deslizamento é feita em E.L.S.;

$n_s := 1$ $\mu := 0,50$ $C_h := 1,00$

$Ftb :=$ if $D1 = \frac{1}{2}$ $= 85\ kN$

$53\ kN$

else

if $D1 = \frac{5}{8}$

$85\ kN$

else

if $D1 = \frac{3}{4}$

$125\ kN$

else

$173\ kN$

Ft,_Sk = 0 kN , pois os parafusos da ligação não são tracionados.

$Ft_Sk_por_paraf := 0$

$$Ff_Rk_por_paraf := 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot Ftb \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{Ft_Sk_por_paraf}{0,80 \cdot Ftb}\right) = 34\ kN$$

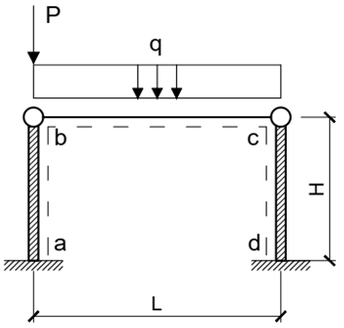
$$Nsd_desliz := \frac{Ff_Rk_por_paraf}{0,7} \cdot n_paraf = 145,71\ kN$$

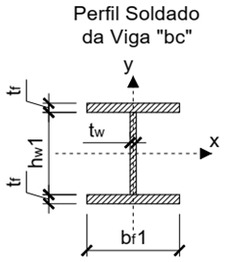
$$G07 := \frac{Nsd_desliz}{kN} = 145,71$$

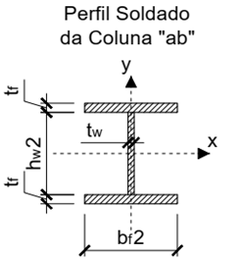
Problema B (0,625 ponto cada) :

Para o modelo estrutural esboçado ao lado proceder as verificações de :
a) FLA e FLM para momentos fletores;
b) Cisalhamento e
c) Deformações Excessivas (flecha)
para a viga "bc".

Em seguida, proceder a verificação de
d) Compressão simples
para a coluna "ab".







Dados:
- A viga "bc" faz parte de um piso de uma bibliteca e é travada lateralmente ao longo de todo seu comprimento;
- Combinações NORMAIS para ELU e RARAS para ELS;
- Aço AR350 nas chapas componentes dos perfis;
- Os eixos "x" indicados nos perfis são perpencidulares ao plano do papel enquanto que os eixos "y" são paralelos ao plano do papel;
- Considerar as vinculações indicadas no modelo como sendo iguais para ambos eixos principais de inércia;
- Utilizar valores recomendados (e não os teóricos) para Kx e Ky na verificação de compressão simples;
- Para cálculo de esforços e deslocamentos considerar que as colunas "ab" e "cd" são infinitemente rígidas;

Geometria:

L = D2 . 6,0 m
H = D2 . 3,0 m
tw = 6,3 mm
tf = 10 mm
bf1 = D3 . 200 mm
hw1 = D4 . 400 mm
bf2 = 0,65 . bf1
hw2 = bf2

Carregamentos:

- Valores da carga distribuída por metro linear :
q1 = 10 kN/m (peso próprio de estrutura metálica)
q2 = D5 . 18 kN/m (acidental de ocupação)

- Valor da carga concentrada aplicada no ponto "b";
P1 = 120 kN (peso próprio de estrutura metálica)

OBS: Não utilizar ações agrupadas na composição das combinações de ações .

Q08 – Qual o momento resistente da viga "bc" conforme a verificação FLA [em kNm] ?
Q09 – Qual o momento resistente da viga "bc" conforme a verificação FLM [em kNm] ?
Q10 – Qual a relação momento resistente / momento solicitante para a viga "bc" [adim.] ?
Q11 – Qual a relação cortante resistente / cortante solicitante para a viga "bc" [adim.] ?
Q12 – Qual a relação flecha limite / flecha calculada para a viga "bc" [adim.] ?
Q13 – Qual o índice de esbeltez da coluna "ab" para o eixo principal de inérica mais desfavorável [adim.] ?
Q14 – Qual o valor da solicitação axial de compressão que incide na coluna "ab" [em kN e em módulo] ?
Q15 – Qual o valor do fator redutor Q relativo aos efeitos de flambagem local na coluna "ab" [adim.]?
Q16 – Qual o valor da força resistente de compressão na coluna "ab" (considerando efeitos de flambagem local e global) [em kN e em módulo]?

$D1 = 0,625$ $D2 = 0,8$ $D3 = 0,6$ $D4 = 1,2$ $D5 = 0,8$

$L := D2 \cdot 6,0\ m = 4,8\ m$ $H := D2 \cdot 3\ m = 2,4\ m$ $tw := 6,3\ mm$ $tf := 10\ mm$

$bf1 := D3 \cdot 200\ mm = 120\ mm$ $hw1 := D4 \cdot 400\ mm$ $bf2 := 0,65 \cdot bf1 = 78\ mm$ $hw2 := bf2 = 78\ mm$

$q1 := 10\ \frac{kN}{m}$ $q2 := D5 \cdot 18\ \frac{kN}{m}$ $\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$

$E := 200\ GPa$ $fy := 35\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 45\ \frac{kN}{cm^2}$ $P1 := 120\ kN$

Propriedades Geométricas do Perfil da Viga:

$d := 2 \cdot tf + hw1 = 500\ mm$ $Agv := 2 \cdot bf1 \cdot tf + hw1 \cdot tw = 54,24\ cm^2$

$Ixv := \frac{bf1 \cdot d^3}{12} - \frac{(bf1 - tw) \cdot hw1^3}{12} = 20214\ cm^4$ $Wxv := \frac{Ixv}{0,5 \cdot d} = 808,56\ cm^3$ $rxv := \sqrt{\frac{Ixv}{Agv}} = 19,305\ cm$

$Zxv := 2 \cdot \left(bf1 \cdot tf \cdot \frac{(hw1 + tf)}{2} + \frac{hw1}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw1}{4} \right) = 950,88\ cm^3$

Combinações de Ações:

$\gamma g := 1,25$ $\gamma q := 1,5$

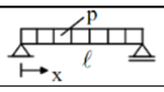
Combinação Normal ELU: q_elu = γg.q1 + γg.q2 $q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 34,10\ \frac{kN}{m}$

$P_elu := \gamma g \cdot P1 = 150\ kN$

Combinação Quase-Permanente ELS: q_els = q1 + ψ1.q2 $q_els := q1 + q2 = 24,40\ \frac{kN}{m}$

$P_els := P1 = 120\ kN$

Solicitações Máximas (ELU)

	$\frac{5}{384}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha)$

$Msd_max := \frac{q_elu \cdot L^2}{8} = 98,208\ kN\ m$ $\delta_calc := \frac{5 \cdot q_els \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Ixv} = 0,41717\ cm$

$Vsd_max := \frac{q_elu \cdot L}{2} = 81,84\ kN$ $Nsd := Vsd_max + P_elu = 231,84\ kN$

$\delta_limite := \frac{L}{350} = 1,3714\ cm$ $G12 := \frac{\delta_limite}{\delta_calc} = 3,2875$ $G14 := \frac{Nsd}{kN} = 231,84$

Verificação de Momentos Resistentes - FLA e FLM:

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

$\lambda_{FLA} := \frac{hw1}{tw} = 76,1905$

$\lambda_{pFLA} := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 89,881$

$\lambda_{rFLA} := 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 136,26$

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)

$Mpl := Zxv \cdot fy = 332,81\ kN\ m$

$My := Wxv \cdot fy = 283,00\ kN\ m$

$Tipo_de_Alma_Flex := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}\ \text{"Compacta"}\ \text{else if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{rFLA}\ \text{"Semicompacta"}\ \text{else "Esbelta"} = \text{"Compacta"}$

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}\ \frac{Mpl}{\gamma a1}\ \text{else } \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})} \right] = 302,55\ kN\ m$

$G08 := \frac{Mrd_FLA}{kN\ m} = 302,55$

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

$\lambda_{FLM} := \frac{0,5 \cdot bf1}{tf} = 6$

$\lambda_{pFLM} := 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 9,0837$

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw1}{tw}}} = 0,4583$

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)

$kc := \text{if } kc_calc > 0,76\ 0,76\ \text{else if } kc_calc < 0,35\ 0,35\ \text{else } kc_calc = 0,4583$

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 $0,35 \le k_c \le 0,76$

$\lambda_{rFLM} := 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(fy - 0,30 \cdot fy)}{kc}} = 18,37$

$Mr := (fy - 0,3 \cdot fy) \cdot Wxv = 198,10\ kN\ m$

$Tipo_de_Mesa := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM}\ \text{"Compacta"}\ \text{else if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}\ \text{"Semicompacta"}\ \text{else "Esbelta"} = \text{"Compacta"}$

$Mrd_FLM := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM}\ \frac{Mpl}{\gamma a1}\ \text{else if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}\ \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left[Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})} \right]\ \text{else } \frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\ 2} \cdot \gamma a1} \cdot Wc = 302,55\ kN\ m$

$G09 := \frac{Mrd_FLM}{kN\ m} = 302,55$

$Mrd := \min([\ Mrd_FLA\ \ Mrd_FLM\ ]) = 302,55\ kN\ m$

$G10 := \frac{Mrd}{Msd_max} = 3,0807$

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	$\lambda_r < \lambda$	$V_{Rd} = 1,24\left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 d t_w f_y$

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

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.

$Aw := d \cdot tw = 31,5\ cm^2$ $\quad Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 661,5\ kN$ $\quad kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw1}{tw} = 76,1905$ $\quad \lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 58,7975$ $\quad \lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 73,2296$

$Tipo_de_Alma_CIS := \text{if}\ \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS}$ $= \text{"Esbelta"}$

"Compacta"

else

if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$

"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$Vrd := \text{if}\ \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS}$ $= 444,09\ kN$

$\frac{Vpl}{\gamma a1}$

else

if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$

$\frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1}$

else

$1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$ $\quad G11 := \frac{Vrd}{Vsd_max} = 5,4264$

Verificações para a barra comprimida "ab":

$Kx := 0,8$ $\quad Lx := H = 240\ cm$

$Ky := 0,8$ $\quad Ly := H = 240\ cm$

$Agc := 2 \cdot bf2 \cdot tf + hw2 \cdot tw = 20,5140\ cm^2$

$Ixc := \frac{bf2 \cdot (hw2 + 2 \cdot tf)^3}{12} - \frac{(bf2 - tw) \cdot hw2^3}{12} = 328,2300\ cm^4$

$Iyc := \frac{2 \cdot tf \cdot bf2^3}{12} + \frac{hw2 \cdot tw^3}{12} = 79,2545\ cm^4$

$rxc := \sqrt{\frac{Ixc}{Agc}} = 4,0000\ cm$ $\quad ryc := \sqrt{\frac{Iyc}{Agc}} = 1,9656\ cm$

$\lambda x := \frac{Kx \cdot Lx}{rxc} = 48,000$ $\quad \lambda y := \frac{Ky \cdot Ly}{ryc} = 97,682$

$G13 := \lambda y = 97,682$

Elemento AA - alma do perfil:

$\lambda alma := \frac{hw2}{tw} = 12,381$ GRUPO 2: $\lambda lim_g2 := 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 35,6178$

$bef_calc := 1,92 \cdot tw \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,34}{\lambda alma} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 9,9336 \text{ cm}$

$bef := \text{if } \lambda alma < \lambda lim_g2 = 7,8 \text{ cm}$
$\quad hw2$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad bef_calc$

$Aef := Agc - (hw2 - bef) \cdot tw = 20,514 \text{ cm}^2$ $Qa := \frac{Aef}{Agc} = 1$

Elementos AL - mesas do perfil:

$\lambda mesa := \frac{0,50 \cdot bf2}{tf} = 3,9$

GRUPO 5: $kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw2}{tw}}} = 1,1368$ $kc := \text{if } kc_calc > 0,76 = 0,76$
$\quad 0,76$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \text{if } kc_calc < 0,35$
$\quad\quad\quad 0,35$
$\quad\quad \text{else}$
$\quad\quad\quad kc_calc$

$\lambda r_g5 := 0,64 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{fy}{kc}}} = 13,3373$ $\lambda e_g5 := 1,17 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{fy}{kc}}} = 24,3822$

$Qs := \text{if } \lambda mesa < \lambda r_g5 = 1$
$\quad 1$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \text{if } \lambda mesa < \lambda e_g5$
$\quad\quad\quad 1,415 - 0,65 \cdot \lambda mesa \cdot \sqrt{\frac{fy}{kc \cdot E}}$ $1,415 - 0,65 \cdot \lambda mesa \cdot \sqrt{\frac{fy}{kc \cdot E}} = 1,2934$
$\quad\quad \text{else}$
$\quad\quad\quad \frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{fy \cdot \lambda mesa^2}$ $\frac{0,90 \cdot E \cdot kc}{fy \cdot \lambda mesa^2} = 25,6974$

$Q := Qa \cdot Qs = 1$ $G15 := Q = 1$

Análise do Eixo Y:

$\lambda y := \text{if } \lambda y > 200 = 97,682$
$\quad 99999999$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \lambda y$

$\lambda oy := \lambda y \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot fy}{\pi^2 \cdot E}} = 1,3007$

$\chi y := \text{if } \lambda oy \leq 1,5 = 0,4926$
$\quad 0,658^{\lambda oy^2}$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad \frac{0,877}{\lambda oy^2}$

$Ncrd := \frac{Q \cdot \chi y \cdot Agc \cdot fy}{\gamma a1} = 321,50 \text{ kN}$

$$Ncrd_final := \begin{cases} 0 & \text{if } \lambda y > 200 \\ Ncrd & \text{else} \end{cases}$$

$$G16 := \frac{Ncrd_final}{kN} = 321,50$$