Universidade POSITIVO

Engenharia Civil
Prova Bimestral: 2 / 1° Semestre de 2020
Disciplina: Estruturas de Aço e Madeira I

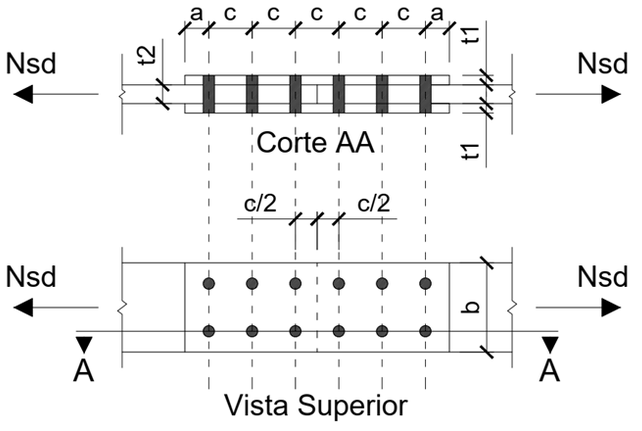
Código da Prova:
AM201-B2-5NA

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-B2-5NA"**;
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 Nsd possível de ser aplicada de modo que ainda sejam atendidas as verificações de:

a) Corte nos parafusos;
b) Rasgamento de chapa e pressão de apoio;
c) Deslizamento de chapa (em ELS);



Dados:
- Aço AR350 nas chapas e parafusos ASTM A490 com diâmetro db = D1 (polegadas);
- Combinações Normais para ELU e Frequentes para ELS;
- A deformação dos furos na ligação é uma limitação de projeto;
- Superfícies jateadas sem pintura e furos padrão;
- Para cálculos na ligação considerar esforços solicitantes ELS de forma simplificada como sendo iguais à 70% da solicitação ELU;

Geometria:
a = D2 . 45 mm
b = 200 mm
c = D3 . 55 mm
t1 = D4 . 10 mm
t2 = D5 . 16 mm

Q01 – Qual a máxima solicitação "Nsd"(em valor de cálculo) possível de ser aplicada de modo que a verificação de corte dos parafusos ainda seja atendida [em kN] ?
Q02 – Qual a máxima solicitação "Nsd"(em valor de cálculo) possível de ser aplicada de modo que a verificação de rasgamento de chapa e pressão de apoio ainda seja atendida [em kN] ?
Q03 – Qual a máxima solicitação "Nsd" (em valor de cálculo) possível de ser aplicada de modo que a verificação de deslizamento de chapa ainda seja atendida [em kN] ?

$D1 = 0,875$ $D2 = 1$ $D3 = 1,2$ $D4 = 0,8$ $D5 = 0,8$

$db := D1 \cdot 25,4\ mm = 22,225\ mm$ $a := D2 \cdot 45\ mm$ $b := 200\ mm$ $c := D3 \cdot 55\ mm$

$t1 := D4 \cdot 10\ mm$ $t2 := D5 \cdot 16\ mm$ $\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$

$E := 200\ GPa$ $fy := 35\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 45\ \frac{kN}{cm^2}$ $fub := 1035\ MPa$

Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

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

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

$fub = 103,5\ \frac{kN}{cm^2}$

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:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 118,9707\ kN$

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 2$ Quantidade de parafusos: $n_paraf := 6$

$Fv_Rd_total := n_planos \cdot n_paraf \cdot Fv_Rd_por_plano = 1427,6\ kN$

$G01 := \frac{Fv_Rd_total}{kN} = 1427,6$

Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

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

$d_b := db = 22,225\ mm$

bf : borda de furo bc : borda de chapa

Para chapas externas:

$l_bf_a_bf1 := c - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} = 42,275\ mm$

$l_bf_a_bc1 := a - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} = 33,138\ mm$

$lf := \min([\ l_bf_a_bf1\ \ l_bf_a_bc1\ ]) = 33,138\ mm$

$Fc_Rd11 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t1 \cdot fu}{\gamma a2} = 106,04\ kN$ $Fc_Rd12 := \frac{2,4 \cdot d_b \cdot t1 \cdot fu}{\gamma a2} = 142,24\ kN$

$Fc_Rd_por_furo1 := \min([\ Fc_Rd11\ \ Fc_Rd12\ ]) = 106,04\ kN$

Para chapas internas

$l_bf_a_bf2 := c - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} = 42,275\ mm$

$l_bf_a_bc2 := \frac{c}{2} - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} = 21,138\ mm$

$lf := \min([\ l_bf_a_bf2\ \ l_bf_a_bc2\ ]) = 21,138\ mm$

$Fc_Rd11 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t2 \cdot fu}{\gamma a2} = 108,22\ kN$ $Fc_Rd12 := \frac{2,4 \cdot d_b \cdot t2 \cdot fu}{\gamma a2} = 227,58\ kN$

$Fc_Rd_por_furo2 := \min([\ Fc_Rd11\ \ Fc_Rd12\ ]) = 108,22\ kN$

$Nsd_corte := \min([\ 2 \cdot Fc_Rd_por_furo1\ \ Fc_Rd_por_furo2\ ]) \cdot n_paraf$

$G02 := \frac{Nsd_corte}{kN} = 649,34$

Verificação de Deslizamento de Chapa:

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

Resistência ao Deslizamento

ELS: $F_{f,Rk} = 0{,}80\,\mu\,C_h\,F_{Tb}\,n_s\left(1-\frac{F_{t,Sk}}{0{,}80F_{Tb}}\right)$

ELU: $F_{f,Rd} = \frac{1{,}13\mu\,C_h\,F_{Tb}\,n_s}{\gamma_e}\left(1-\frac{F_{t,Sd}}{1{,}13F_{Tb}}\right)$

n_s : número de planos de deslizamento;

γ_e : coeficiente de ponderação de resistência igual a:
- 1,20 para combinações normais, especiais ou de construção;
- 1,00 para combinações excepcionais;

μ : coeficiente médio de atrito dado por:
0,35 para superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxa, sem pintura e superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada por meio de escova de aço;
0,50 superfícies jateadas sem pintura;
0,20 superfícies galvanizadas a quente;

C_h : é um fator de furo igual a:
1,00 para furos padrão;
0,85 para furos alargados ou pouco alongados;
0,70 para furos muito alongados;

Diâmetro d_b		F_{Tb} kN	
pol	mm	ASTM A325	ASTM A490
1/2		53	66
5/8		85	106
	16	91	114
3/4		125	156
	20	142	179
	22	176	221
7/8		173	216
	24	205	257
1		227	283
	27	267	334
1 1/8		250	357
	30	326	408
1 1/4		317	453
	36	475	595
1 1/2		460	659

$n_s := 2$ $\mu := 0{,}50$ $C_h := 1{,}00$

$Ftb :=$ if $D1 = \frac{1}{2}$ $= 216$ kN
66 kN
else
if $D1 = \frac{5}{8}$
106 kN
else
if $D1 = \frac{3}{4}$
156 kN
else
216 kN

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

$Ft_Sk_por_paraf := 0$

$Ff_Rk_por_paraf := 0{,}80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot Ftb \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{Ft_Sk_por_paraf}{0{,}80 \cdot Ftb}\right) = 172{,}8$ kN

$Nsd_desliz := \frac{Ff_Rk_por_paraf}{0{,}7} \cdot n_paraf = 1481{,}1$ kN

$G03 := \frac{Nsd_desliz}{kN} = 1481{,}1$

Problema B (0,625 ponto cada) :

Para o modelo de viga metálica esboçado ao lado proceder as verificações de :

a) FLA, FLM e FLT para momentos fletores;

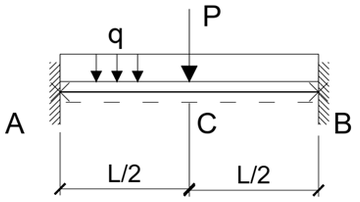
b) Cisalhamento;

c) Deformações Excessivas (flecha);

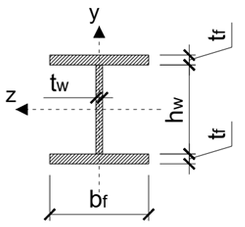
Em seguida, considerando a ligação tipo atrito no ponto "B", proceder a verificação de :

d) Deslizamento de chapa.

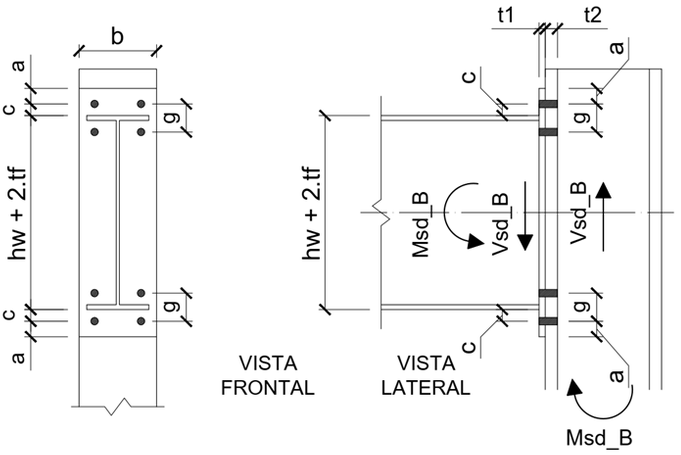
Esquema Estático da Viga "ACB"



Seção Transversal da Viga "ACB" Perfil I Soldado



Detalhe da Ligação por Atrito no Ponto "B"



Dados:

- Viga de piso de uma edificação comercial com acesso ao público;

- Travamentos laterais nos pontos "A" e "B";

- Combinações Normais para ELU e Frequentes para ELS;

- Aço MR250 nas chapas e parafusos ASTM A325 com diâmetro db = D1 (polegadas);

- Superfícies jateadas sem pintura e furos padrão;

- Para cálculos na ligação considerar esforços solicitantes ELS de forma simplificada como sendo iguais a 70% da solicitação ELU;

- Equações da linha eslástica para o caso :

$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha^2)$ **e** $\frac{PL^3}{48EI}(4\alpha^3 - 3\alpha^2)$

Geometria:

L = D2 . 6,0 m	**b = 220 mm**
tw = 10 mm	**a = 40 mm**
hw = D3 . 450 mm	**c = 25 mm**
bf = D4 . 200 mm	**g = 2.c + tf**
tf = 12,5 mm	**t1 = 10 mm**
	t2 = 16 mm

Carregamentos:

- Valores da carga distribuída por metro linear :

q1 = 10 kN/m (peso próprio de estrutura metálica)

q2 = D5 . 20 kN/m (acidental de ocupação)

- Valor da carga concentrada aplicada no ponto "C";

P1 = 30 kN (peso próprio de estrutura metálica)

OBS: Não utilizar ações agrupadas na composição das combinações de ações e sim γg = 1,25, γq = 1,50 e ψ1 = 0,6 .

Q04 – Qual a máxima carga distribuída "q" (em valor de cálculo ELU) possível de ser aplicada (considerando que a carga P1 enunciada também é aplicada com a devida majoração) na viga "ACB" de modo que a verificação FLA ainda seja atendida [em kN/m]?

Q05 – Qual a mínima altura de alma "hw" necesssária para que viga "ACB" atenda à verificação FLM [em mm]?

Q06 – Qual o momento fletor resistente da viga "ACB" em termos da verificação FLT [em kNm]?

Q07 – Qual o valor do esforço cortante resistente da viga "ACB" [em kN]?

Q08 – Qual o valor da flecha calculada para a viga "ACB" [em mm e em módulo] ?

Q09 – Qual o valor da solicitação de esforço cortante (ELU) que incide na ligação no ponto "B" [em kN e em módulo] ?

Q10 – Qual o valor da solicitação de momento fletor (ELU) que incide na ligação no ponto "B" [em kNm e em módulo] ?

Q11 – Qual o valor da solicitação de tração por parafuso nos parafusos mais solicitados da ligação no ponto "B" [em kN e em módulo] ?

Q12 – Qual o valor da força resistente ao deslizamento de chapa por parafuso (valor calculado para o parafuso mais desfavorável) da ligação no ponto B [em valor de cálculo ELU e em kN]?

Q13 – Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de momentos fletores da viga "ACB" (obviamente considerando o pior resultado entre FLA, FLM e FLT) [adim.] ?

Q14 – Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de esforços cortantes da viga "ACB" [adim.] ?

Q15 – Qual o valor da relação flecha limite/flecha calculada da viga "ACB" [adim.] ?

Q16 – Qual o valor da relação resistência/solicitação em termos da verificação de deslizamento de chapa na ligação do ponto "B" (considerando apenas os efeitos no parafuso mais desfavorável do conjunto) [adim.] ?

$D1 = 0,875$ $D2 = 1$ $D3 = 1,2$ $D4 = 0,8$ $D5 = 0,8$

$db := D1 \cdot 25,4\ mm = 22,225\ mm$ $L := D2 \cdot 6\ m = 6\ m$ $t1 := 10\ mm$ $t2 := 16\ mm$

$hw := D3 \cdot 450\ mm = 540\ mm$ $tw := 10\ mm$ $bf := D4 \cdot 200\ mm = 160\ mm$ $tf := 12,5\ mm$

$a := 40\ mm$ $c := 25\ mm$ $b := 220\ mm$ $g := 45\ mm$

$q1 := 10\ \frac{kN}{m}$ $q2 := D5 \cdot 20\ \frac{kN}{m}$ $\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$

$E := 200\ GPa$ $fy := 25\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 40\ \frac{kN}{cm^2}$ $fub := 825\ MPa$ $P1 := 30\ kN$

Propriedades Geométricas:

$d := 2 \cdot tf + hw = 565\ mm$ $Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 94\ cm^2$

$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 43653\ cm^4$ $Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 1545,2\ cm^3$ $rz := \sqrt{\frac{Iz}{Ag}} = 21,550\ cm$

$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 857,83\ cm^4$ $Wy := \frac{Iy}{0,5 \cdot bf} = 107,23\ cm^3$ $ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 3,0209\ cm$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 1834,0\ cm^3$ $Cw := \frac{Iy \cdot (d - tf)^2}{4} = 6,5465 \cdot 10^5\ cm^6$

$J := \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot bf \cdot tf^3 + hw \cdot tw^3 \right) = 38,833\ cm^4$ $\beta 1 := \frac{0,7 \cdot fy \cdot Wz}{E \cdot J} = 0,034817\ \frac{1}{cm}$

Combinações de Ações:

$\gamma g := 1,25$ $\gamma q := 1,5$ $\psi 1 := 0,6$

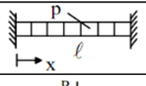
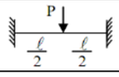
Combinação Normal ELU: q_elu = γg.q1 + γg.q2 $q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 36,50\ \frac{kN}{m}$

$P_elu := \gamma g \cdot P1 = 37,5\ kN$

Combinação Quase-Permanente ELS: q_els = q1 + ψ1.q2 $q_els := q1 + \psi 1 \cdot q2 = 19,60\ \frac{kN}{m}$

$P_els := P1 = 30\ kN$

Solicitações Máximas (ELU)

	$\frac{1}{384}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha^2)$
	$\frac{1}{192}\frac{pL^3}{EI}$	0,5 L	$\frac{PL^3}{48EI}(4\alpha^3 - 3\alpha^2)$

$\delta q(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{24 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-\left(\frac{x}{L}\right)^4 + 2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 \right)$ $\delta P(x) := \frac{P_els \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(4 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - 3 \cdot \left(\frac{x}{L}\right) \right)$

$\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{24 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-4 \cdot \frac{x^3}{L^4} + 6 \cdot \frac{x^2}{L^3} - 2 \cdot \frac{x}{L^2} \right) + \frac{P_els \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(12 \cdot \frac{x^2}{L^3} - 6 \cdot \frac{x}{L^2} \right)$

$M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-12 \cdot \frac{x^2}{L^4} + 12 \cdot \frac{x}{L^3} - \frac{2}{L^2} \right) + \frac{P_elu \cdot L^3}{48} \cdot \left(24 \cdot \frac{x}{L^3} - 6 \cdot \frac{1}{L^2} \right)$

$V(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{24} \cdot \left(-24 \cdot \frac{x}{L^4} + 12 \cdot \frac{1}{L^3} \right) + \frac{P_elu \cdot L^3}{48} \cdot \left(24 \cdot \frac{1}{L^3} \right)$

Cortantes Solicitantes nos pontos "a" e "c": $Va := V(0) = 128,25\ kN$ $Vc := V\left(\frac{L}{2}\right) = 18,75\ kN$

Momentos Solicitantes nos pontos "a" e "c": $Ma := M(0) = -137,62\ kN\ m$ $Mc := M\left(\frac{L}{2}\right) = 82,875\ kN\ m$

Posição onde ocorre o momento extremo ocorre: $x_ext := \frac{L}{2} = 3\ m$

$$Mext := \begin{array}{l}\text{if } x_ext < L = 82,875\ kN\ m \\ \quad M(x_ext) \\ \text{else} \\ \quad 0\end{array}$$

* Devido a simetria de geometria e carregamento os esforços nos pontos "a" e "b" são iguais.

$Msd := \max([|Ma|\ |Mext|]) = 137,62\ kN\ m$ $Vsd := \max([|Va|\ |Vc|]) = 128,25\ kN$

$$\delta_calc := \frac{1 \cdot q_els \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Iz} + \frac{1 \cdot P_els \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot Iz} = 1,1443\ mm$$

$$\delta_limite := \frac{L}{350} = 17,143\ mm$$

$$G08 := \frac{\delta_calc}{mm} = 1,1443$$

$$G09 := \frac{|Va|}{kN} = 128,25$$

$$G10 := \frac{|Ma|}{kN\ m} = 137,62$$

$$G15 := \frac{\delta_limite}{\delta_calc} = 14,982$$

Verificação de Momentos Resistentes - FLA, FLM e FLT:

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

$hw := d - 2 \cdot tf = 540\ mm$

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 54$

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

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

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)

$Mpl := Zz \cdot fy = 458,50\ kN\ m$

$My := Wz \cdot fy = 386,31\ kN\ m$

$$Tipo_de_Alma_Flex := \begin{array}{l}\text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA} = \text{"Compacta"} \\ \quad \text{"Compacta"} \\ \text{else} \\ \quad \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{rFLA} \\ \quad\quad \text{"Semicompacta"} \\ \quad \text{else} \\ \quad\quad \text{"Esbelta"}\end{array}$$

$$Mrd_FLA := \begin{array}{l}\text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA} \\ \quad \frac{Mpl}{\gamma a1} \\ \text{else} \\ \quad \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - My) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})}\right)\end{array} = 416,82\ kN\ m$$

Assumindo que uma alma compacta seja suficiente para resistir à solicitação:

$$q_elu_FLA := \max\left(\text{solve}\left(\frac{q_elu_FLA\ \frac{kN}{m}\cdot L^{2}}{12}+\frac{P_elu\cdot L}{8}-Mrd_FLA\ ;\ q_elu_FLA\right)\right)=$$

$$G04 := q_elu_FLA =$$

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

$$\lambda_{FLM} := \frac{0,5\cdot bf}{tf} = 6,4$$

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

$$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0,5443$$

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 := if kc_calc > 0,76
        0,76
      else
        if kc_calc < 0,35
          0,35
        else
          kc_calc
```

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

$$\lambda_{rFLM} := 0,95\cdot\sqrt{\frac{E}{\frac{(fy-0,30\cdot fy)}{kc}}} = 23,69$$

$$Mr := (fy-0,3\cdot fy)\cdot Wz = 270,42\ kN\ m$$

```
Tipo_de_Mesa := if λ_FLM ≤ λ_pFLM
                  "Compacta"
                else
                  if λ_FLM ≤ λ_rFLM
                    "Semicompacta"
                  else
                    "Esbelta"
```

```
Mrd_FLM := if λ_FLM ≤ λ_pFLM
             Mpl / γa1
           else
             if λ_FLM ≤ λ_rFLM
               (1/γa1)·(Mpl − (Mpl − Mr)·(λ_FLM − λ_pFLM)/(λ_rFLM − λ_pFLM))
             else
               (0,90·E·kc/λ_FLM²)·Wc
```

$= 416,82\ kN\ m$

$$hw_FLM := \max\left(\text{solve}\left(2\cdot\left(bf\cdot tf\cdot\frac{(hw1\ m+tf)}{2}+\frac{hw1\ m}{2}\cdot tw\cdot\frac{hw1\ m}{4}\right)\cdot\frac{fy}{\gamma a1}-Msd\ ;\ hw1\right)\right) m = 0,22623\ m$$

$$G05 := \frac{hw_FLM}{mm} = 226,23$$

FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 1	$\frac{L_b}{r_y}$	$1{,}76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1

$I_x = \frac{b_f(2*t_f+h_w)^3}{12} - \frac{(b_f-t_w)h_w^3}{12}$ $I_y = 2\frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{h_w t_w^3}{12}$ $W_x = \frac{I_x}{0{,}5d}$ $W_y = \frac{I_y}{0{,}5b_f}$ $Z_x = 2\left(b_f t_f\left(\frac{h_w}{2}+\frac{t_f}{2}\right)+\frac{h_w^2}{8}t_w\right)$ $M_{pl} = Z_x f_y$

Nota 1 :

$\lambda_r = \frac{1{,}38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1}\sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27C_w\beta_1^2}{I_y}}}$ $M_{cr} = \frac{C_b\pi^2 E I_y}{L_b^2}\sqrt{\frac{C_w}{I_y}\left(1+0{,}039\frac{JL_b^2}{C_w}\right)}$ $\beta_1 = \frac{(f_y-\sigma_r)W_x}{E\,J}$ $C_w = \frac{I_y(d-t_f)^2}{4}$ $J = \frac{1}{3}(2b_f t_f^3 + h_w t_w^3)$

$ry = 3{,}0209$ cm

$Lb := L = 600$ cm

$\lambda_{VIGA} := \frac{Lb}{ry} = 198{,}62$

$\lambda_{pFLT} := 1{,}76\cdot\sqrt{\frac{E}{fy}} = 49{,}780$

FLT		
Tipo de Viga	**Relação de Parâmetros**	**Expressão de Cálculo**
Curta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Intermediária	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl}-M_r)\frac{(\lambda-\lambda_p)}{(\lambda_r-\lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Longa	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$\lambda_{rFLT} := \frac{1{,}38\cdot\sqrt{Iy\cdot J}}{ry\cdot J\cdot\beta 1}\cdot\sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27\cdot Cw\cdot\beta 1^2}{Iy}}} = 152{,}26$

```
Tipo_de_Viga := if λ_VIGA ≤ λ_pFLT
                  "Esbelta"
                "Curta"
              else
                if λ_VIGA ≤ λ_rFLT
                  "Intermediária"
                else
                  "Esbelta"
```

Cálculo do Fator Cb :

$Ma := |M(0{,}25\cdot Lb)| = 13{,}688$ kN m $\quad Mb := |M(0{,}50\cdot Lb)| = 82{,}875$ kN m

$Mc := |M(0{,}25\cdot Lb)| = 13{,}688$ kN m $\quad M_max := Msd = 137{,}62$ kN m

$Cb := \min\left(\left[\frac{12{,}5\cdot M_max}{2{,}5\cdot M_max + 3\cdot Ma + 4\cdot Mb + 3\cdot Mc}\ 3\right]\right) = 2{,}2705$

```
Mrd_FLT := if λ_VIGA ≤ λ_pFLT                                   = 363,09 kN m
             Mpl/γa1
           else
             if λ_VIGA ≤ λ_rFLT
               min([ Cb/γa1 · (Mpl − (Mpl − Mr)·((λ_VIGA − λ_pFLT)/(λ_rFLT − λ_pFLT))) Mpl/γa1 ])
             else
               min([ Cb·π²·E·Iy/(γa1·Lb²) · √(Cw/Iy · (1 + 0,039·J·Lb²/Cw)) Mpl/γa1 ])
```

$Mrd := \min([\ Mrd_FLA\ \ Mrd_FLM\ \ Mrd_FLT\ ]) = 363{,}09$ kN m

$G06 := \frac{Mrd_FLT}{\text{kN m}} = 363{,}09$ $\quad G13 := \frac{Mrd}{Msd} = 2{,}6383$

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

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

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

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.

$Aw := d \cdot tw = 56{,}5\ cm^2$ $Vpl := 0{,}60 \cdot Aw \cdot fy = 847{,}5\ kN$ $kv := 5{,}0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 54$ $\lambda_{pCIS} := 1{,}10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69{,}5701$ $\lambda_{rCIS} := 1{,}37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86{,}6464$

```
Tipo_de_Alma_CIS := if λ_CIS ≤ λ_pCIS = "Compacta"
                      "Compacta"
                    else
                      if λ_CIS ≤ λ_rCIS
                        "Semicompacta"
                      else
                        "Esbelta"
```

```
Vrd := if λ_CIS ≤ λ_pCIS = 770,45 kN
         Vpl / γa1
       else
         if λ_CIS ≤ λ_rCIS
           (λ_pCIS · Vpl) / (λ_CIS · γa1)
         else
           1,24 · (λ_pCIS / λ_CIS)^2 · Vpl / γa1
```

$G07 := \frac{Vrd}{kN} = 770{,}45$ $G14 := \frac{Vrd}{Vsd} = 6{,}0074$

Solicitação de Tração nos Parafusos:

$d_viga := hw + \frac{tf}{2} + \frac{tf}{2} = 55{,}25\ cm$ $n_paraf := 8$

$Ft_Sd_por_paraf := \frac{\frac{Msd}{d_viga}}{\frac{n_paraf}{2}} = 62{,}274\ kN$ $G11 := \frac{Ft_Sd_por_paraf}{kN} = 62{,}274$

Verificação de Deslizamento de Chapa:

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

Resistência ao Deslizamento

ELS: $F_{f,Rk} = 0{,}80\,\mu\,C_h\,F_{Tb}\,n_s\left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{0{,}80F_{Tb}}\right)$

ELU: $F_{f,Rd} = \frac{1{,}13\mu\,C_h F_{Tb} n_s}{\gamma_e}\left(1 - \frac{F_{t,Sd}}{1{,}13F_{Tb}}\right)$

n_s : número de planos de deslizamento;

γ_e : coeficiente de ponderação de resistência igual a:
- 1,20 para combinações normais, especiais ou de construção;
- 1,00 para combinações excepcionais;

μ : coeficiente médio de atrito dado por:
0,35 para superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxa, sem pintura e superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada por meio de escova de aço;
0,50 superfícies jateadas sem pintura;
0,20 superfícies galvanizadas a quente;

C_h : é um fator de furo igual a:
1,00 para furos padrão;
0,85 para furos alargados ou pouco alongados;
0,70 para furos muito alongados;

Diâmetro d_b		F_{Tb} kN	
pol	mm	ASTM A325	ASTM A490
1/2		53	66
5/8		85	106
	16	91	114
3/4		125	156
	20	142	179
	22	176	221
7/8		173	216
	24	205	257
1		227	283
	27	267	334
1 1/8		250	357
	30	326	408
1 1/4		317	453
	36	475	595
1 1/2		460	659

$n_s := 2$ $\mu := 0,50$ $C_h := 1,00$

$$Ftb := \text{if } D1 = \frac{1}{2} \quad 156\ kN \text{ else if } D1 = \frac{5}{8} \quad 85\ kN \text{ else if } D1 = \frac{3}{4} \quad 125\ kN \text{ else } 156\ kN$$

Análise do para fuso mais solicitado:

$Ft_Sk_por_paraf := 0,70 \cdot Ft_Sd_por_paraf = 43,592\ kN$

$Ff_Rk_por_paraf := 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot Ftb \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{Ft_Sk_por_paraf}{0,80 \cdot Ftb}\right) = 81,208\ kN$

$Ff_Rd_por_paraf := \frac{Ff_Rk_por_paraf}{0,7} = 116,01\ kN$ $G12 := \frac{Ff_Rd_por_paraf}{kN} = 116,01$

$Fv_Sd_por_paraf := \frac{Vsd}{n_paraf} = 16,031\ kN$ $G16 := \frac{Ff_Rd_por_paraf}{Fv_Sd_por_paraf} = 7,2366$

Resultados:

$D1 = 0,875$ $D2 = 1$ $D3 = 1,2$ $D4 = 0,8$ $D5 = 0,8$

$G01 = 1427,6483$	$R01 := V_1 = 1427,6$	$N01 := gab(R01; G01) = 1$
$G02 = 649,344$	$R02 := V_2 = 902,78$	$N02 := gab(R02; G02) = 0$
$G03 = 1481,1429$	$R03 := V_3 = 9999$	$N03 := gab(R03; G03) = 0$
$G04 =$ ▮	$R04 := V_4 = 9999$	$N04 := gab(R04; G04) =$ ▮
$G05 = 226,23$	$R05 := V_5 = 122$	$N05 := gab(R05; G05) = 0$
$G06 = 363,09$	$R06 := V_6 = 350,42$	$N06 := gab(R06; G06) = 1$
$G07 = 770,45$	$R07 := V_7 = 770,45$	$N07 := gab(R07; G07) = 1$
$G08 = 1,1443$	$R08 := V_8 = 75,954$	$N08 := gab(R08; G08) = 0$
$G09 = 128,25$	$R09 := V_9 = 124,5$	$N09 := gab(R09; G09) = 1$
$G10 = 137,62$	$R10 := V_{10} = 113,25$	$N10 := gab(R10; G10) = 0$
$G11 = 62,274$	$R11 := V_{11} = 9999$	$N11 := gab(R11; G11) = 0$
$G12 = 116,01$	$R12 := V_{12} = 9999$	$N12 := gab(R12; G12) = 0$
$G13 = 2,6383$	$R13 := V_{13} = 5,0348$	$N13 := gab(R13; G13) = 0$
$G14 = 6,0074$	$R14 := V_{14} = 6,1883$	$N14 := gab(R14; G14) = 1$
$G15 = 14,982$	$R15 := V_{15} = 0,2257$	$N15 := gab(R15; G15) = 0$
$G16 = 7,2366$	$R16 := V_{16} = 9999$	$N16 := gab(R16; G16) = 0$

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

$Nota := Acertos \cdot peso =$ ▮
