Universidade POSITIVO

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

Código da Prova:
**AM201-B2-5NB**

**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-B2-5NB"**;
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 ) :**

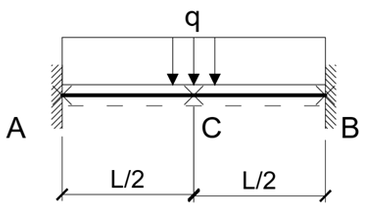
Para o modelo de viga metálica esboçado ao lado proceder as verificações de :

a) FLA, FLM e FLT para momentos fletores;
b) Cisalhamento;
c) Deformações Excessivas (flecha);

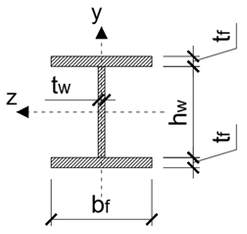
Em seguida, considerando a ligação por contato no ponto "B" , proceder as verificações de:

d) Corte nos parafusos,
e) Tração no parafuso mais solicitado,
f) Tração e corte simultâneos no parafuso mais solicitado,
g) Rasgamento de chapa e pressão de apoio no furo mais desfavorável , da chapa participante da ligação que possui menor espessura,.

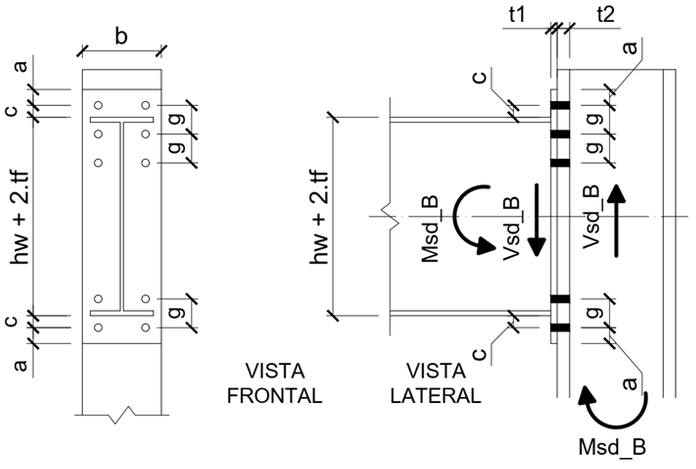
Esquema Estático da Viga "ACB"




Seção Transversal da Viga "ACB"
Perfil I Soldado




Detalhe da Ligação por Contato no Ponto "B"




**Dados:**

**- Viga de piso de uma edificação comercial com acesso ao público;**
**- Travamentos laterais nos pontos "A" ,"C" e "B";**
**- Combinações Normais para ELU e Frequentes para ELS;**
**- Aço MR250 nas chapas e parafusos ASTM A490 com diâmetro db = D1 (polegadas);**
**- A deformação dos furos na ligação é uma limitação de projeto;**
**- Equação da linha eslástica para o caso :**

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

**Geometria:**

**L = D2 . 7,0 m**
**tw = 10 mm**
**hw = D3 . 450 mm**
**bf = D4 . 200 mm**
**tf = 10 mm**

**b = 220 mm**
**a = 40 mm**
**c = 25 mm**
**g = 45 mm**
**t1 = 10 mm**
**t2 = 16 mm**

**Carregamentos**
**( valores da carga distribuída por metro linear no ponto "B" ):**

**q1 = 10 kN/m ( peso próprio de estrutura metálica )**
**q2 = D5 . 20 kN/m ( acidental de ocupação )**

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

Q01 – Qual a mínima altura da alma "hw" necessária para que a viga "ACB" ainda possa ser capaz de atender a verificação FLA [em mm]?
Q02 – Qual o máximo vão "L" possível para a viga "ACB" de modo que ainda seja atendida a verificação FLM [em m]?
Q03 – Qual o momento fletor resistente da viga "ACB" em termos da verificação FLT [em kNm]?
Q04 – Qual o valor do esforço cortante resistente da viga "ACB" [em kN]?
Q05 – Qual o valor da flecha calculada para a viga "ACB" [em mm e em módulo] ?
Q06 – Qual o valor da solicitação de esforço cortante (ELU) que incide na ligação no ponto "B" [em kN e em módulo] ?
Q07 – Qual o valor da solicitação de momento fletor (ELU) que incide na ligação no ponto "B" [em kNm e em módulo] ?
Q08 – Qual o valor da solicitação de tração por parafuso nos parafusos mais solicitados da ligação no ponto "B" [em kN e em módulo] ?
Q09 – Qual o valor do máximo esforço de corte possível de ser aplicado na ligação no ponto "B" de modo que ainda seja atendida a verificação de corte parafusos para a ligação como um todo [em kN] ?
Q10 – Qual o valor da relação resistência/solicitação na verificação de tração de parafuso no parafuso mais solicitado da ligação no ponto "B" [adim] ?
Q11 – Qual o valor obtido na aplicação da expressão de verificação de tração e corte simultâneos no parafuso mais solicitação da ligação no ponto "B" [adim.] ?
Q12 – Qual o valor da relação resistência/solicitação na verificação ao rasgamento de chapa e pressão de apoio no furo mais desfavorável localizado na chapa de menor espessura da ligação no ponto "B" [adim.] ?
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 "AB" [adim.] ?
Q16 – Qual a máxima carga "q" (em ELU) possível de ser aplicada de modo que a verificação de corte dos parafusos na ligação no ponto "B" ainda seja atendida [ em kN/m ]?

---

$D1 = 0,5$ $D2 = 0,6$ $D3 = 0,6$ $D4 = 1,2$ $D5 = 0,8$

$db := D1 \cdot 25,4\ mm = 12,7\ mm$ $L := D2 \cdot 7\ m = 4,2\ m$ $t1 := 10\ mm$ $t2 := 16\ mm$

$hw := D3 \cdot 450\ mm = 270\ mm$ $tw := 10\ mm$ $bf := D4 \cdot 200\ mm = 240\ mm$ $tf := 10\ mm$

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

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

$E := 200\ GPa$ $fy := 25\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 40\ \frac{kN}{cm^2}$ $fub := 1035\ MPa$

## Propriedades Geométricas:

---

$d := 2 \cdot tf + hw = 290\ mm$ $Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 75\ cm^2$

$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 11052\ cm^4$ $Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 762,22\ cm^3$ $rz := \sqrt{\frac{Iz}{Ag}} = 12,139\ cm$

$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 2306,3\ cm^4$ $Wy := \frac{Iy}{0,5 \cdot bf} = 192,19\ cm^3$ $ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 5,5453\ cm$

$Zz := 2 \cdot \left( bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 854,25\ cm^3$ $Cw := \frac{Iy \cdot (d - tf)^2}{4} = 4,5202 \cdot 10^5\ cm^6$

$J := \frac{1}{3} \cdot \left( 2 \cdot bf \cdot tf^3 + hw \cdot tw^3 \right) = 25,000\ cm^4$ $\beta 1 := \frac{0,7 \cdot fy \cdot Wz}{E \cdot J} = 0,026678\ \frac{1}{cm}$

---

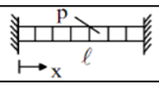
## Combinações de Ações:

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

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

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

## Solicitações Máximas (ELU)

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

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

$\theta(x) := \frac{d}{dx}\delta(x)$ $M(x) := E \cdot Iz \cdot \frac{d}{dx}\theta(x) \cdot \frac{q_elu}{q_els}$ $V(x) := \frac{d}{dx}M(x)$

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

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

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

Cortantes nos extremos: $Va := V(0) = 76,65\ kN$ $Vb := V(L) = -76,65\ kN$

Momento solicitante no ponto "C": $Mb := M(L) = -53,655\ kN\ m$

Posição onde ocorre o momento extremo ocorre: $x_ext := 12 \cdot \frac{1}{L^3} \cdot \frac{L^4}{24} = 2,1\ m$

$Mext := \text{if } x_ext < L = 26,827\ kN\ m$
$\quad M(x_ext)$
$\quad \text{else}$
$\quad 0$

$Msd := \max([|Mb|\ |Mext|]) = 53,655\ kN\ m$ $Vsd := \max([|Va|\ |Vb|]) = 76,65\ kN$

$\delta_calc := \frac{1 \cdot q_els \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Iz} = 0,71852\ mm$

$\delta_limite := \frac{L}{350} = 12\ mm$

$G05 := \frac{\delta_calc}{mm} = 0,71852$

$G06 := \frac{|Vb|}{kN} = 76,65$

$G07 := \frac{|Mb|}{kN\ m} = 53,655$

$G15 := \frac{\delta_limite}{\delta_calc} = 16,701$

## Verificação de Momentos Resistentes - FLA, FLM e FLT:

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

$hw := d - 2 \cdot tf = 270\ mm$

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 27$

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

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

| 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) |

$Mpl := Zz \cdot fy = 213{,}56\ kN\ m$

$My := Wz \cdot fy = 190{,}56\ kN\ m$

$Tipo_de_Alma_Flex := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $= \text{"Compacta"}$

"Compacta"

else

if $\lambda_{FLA} \le \lambda_{rFLA}$

"Semicompacta"

else

"Esbelta"

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA}$ $= 194{,}15\ kN\ m$

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

else

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

Assumindo que uma alma compacta seja suficiente para resistir à solicitação: $Msd = 53{,}655\ kN\ m$

$hw_FLA_calc := \text{solve}\left(2 \cdot \left[bf \cdot tf \cdot \frac{(hw_nec\ cm + tf)}{2} + \frac{hw_nec\ cm}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw_nec\ cm}{4}\right] \cdot \frac{fy}{\gamma a1} - Msd;\ hw_nec\right) cm$

$hw_FLA := \max(hw_FLA_calc) = 8{,}1456\ cm$ $G01 := \frac{hw_FLA}{mm} = 81{,}456$

| 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 |
|---|---|---|---|---|---|

$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf}{tf} = 12$

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

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}7698$

| 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) |

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

$0{,}76$

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

$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(fy - 0{,}30 \cdot fy)/kc}} = 28{,}00$

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 133{,}39\ kN\ m$

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

$Mrd_FLM := \text{if } \lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} = 188{,}86\ \text{kN m}$
$\frac{Mpl}{\gamma a1}$
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
$\frac{0{,}90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\,2} \cdot \gamma a1} \cdot Wc$

$L_FLM_calc := \text{solve}\left( \frac{q_elu \cdot (L_max_FLM\ \text{cm})^2}{12} - Mrd_FLM;\ L_max_FLM \right) \text{cm} = \begin{bmatrix} -7{,}8797\ \text{m} \\ 7{,}8797\ \text{m} \end{bmatrix}$

$L_FLM := \max(L_FLM_calc) = 7{,}8797\ \text{m} \qquad G02 := \frac{L_FLM}{\text{m}} = 7{,}8797$

| 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 :

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

$ry = 5{,}5453\ \text{cm}$

$Lb := \frac{L}{2} = 210\ \text{cm}$

$\lambda_{VIGA} := \frac{Lb}{ry} = 37{,}870$

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

$\lambda_{rFLT} := \frac{1{,}38 \cdot \sqrt{Iy \cdot J}}{ry \cdot J \cdot \beta 1} \cdot \sqrt{1+\sqrt{1+\frac{27 \cdot Cw \cdot \beta 1^{\,2}}{Iy}}} = 159{,}85$

| 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** | $\lambda_r < \lambda$ | $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ |

$Tipo_de_Viga := \text{if } \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT} = \text{"Curta"}$
"Curta"
else
if $\lambda_{VIGA} \le \lambda_{rFLT}$
"Intermediária"
else
"Esbelta"

Cálculo do Fator Cb :

$Ma := |M(0,25 \cdot Lb)| = 18,444 \text{ kN m}$ $Mb := |M(0,50 \cdot Lb)| = 6,7069 \text{ kN m}$

$Mc := |M(0,75 \cdot Lb)| = 21,797 \text{ kN m}$ $M_max := Msd = 53,655 \text{ kN m}$

$$Cb := \min\left(\left[\frac{12,5 \cdot M_max}{2,5 \cdot M_max + 3 \cdot Ma + 4 \cdot Mb + 3 \cdot Mc} \; 3\right]\right) = 2,381$$

$$Mrd_FLT := \begin{cases} \frac{Mpl}{\gamma a1} & \text{if } \lambda_{VIGA} \le \lambda_{pFLT} \\ \min\left(\left[\left(\frac{Cb}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda_{VIGA} - \lambda_{pFLT})}{(\lambda_{rFLT} - \lambda_{pFLT})}\right)\right) \frac{Mpl}{\gamma a1}\right]\right) & \text{if } \lambda_{VIGA} \le \lambda_{rFLT} \\ \min\left(\left[\frac{Cb \cdot \pi^2 \cdot E \cdot Iy}{\gamma a1 \cdot Lb^2} \cdot \sqrt{\frac{Cw}{Iy} \cdot \left(1 + \frac{0,039 \cdot J \cdot Lb^2}{Cw}\right)} \; \frac{Mpl}{\gamma a1}\right]\right) & \text{otherwise} \end{cases} = 194,15 \text{ kN m}$$

$Mrd := \min([\, Mrd_FLA \;\; Mrd_FLM \;\; Mrd_FLT \,]) = 188,86 \text{ kN m}$ $G03 := \frac{Mrd_FLT}{\text{kN m}} = 194,15$ $G13 := \frac{Mrd}{Msd} = 3,5199$

---

## 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.

$Aw := d \cdot tw = 29 \text{ cm}^2$ $Vpl := 0,60 \cdot Aw \cdot fy = 435 \text{ kN}$ $kv := 5,0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 27$ $\lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69,5701$ $\lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86,6464$

$$Tipo_de_Alma_CIS := \begin{cases} \text{"Compacta"} & \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \\ \text{"Semicompacta"} & \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS} \\ \text{"Esbelta"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Compacta"}$$

$$Vrd := \begin{cases} \frac{Vpl}{\gamma a1} & \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS} \\ \frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1} & \text{if } \lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS} \\ 1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1} & \text{otherwise} \end{cases} = 395,45 \text{ kN}$$

$G04 := \frac{Vrd}{\text{kN}} = 395,45$ $G14 := \frac{Vrd}{Vsd} = 5,1592$

---

## Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

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

$Ab := \frac{\pi \cdot db^2}{4} = 1,2668\ cm^2$

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

| 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<br>560 | 825<br>725 | $16 \le d_b \le 24$<br>$24 < d_b \le 36$ | $1/2 \le d_b \le 1$<br>$1 < d_b \le 1½$ |
| 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:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 38,8476\ kN$

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 1$ Quantidade de parafusos: $n_paraf := 10$

$Fv_Rd_total := n_planos \cdot n_paraf \cdot Fv_Rd_por_plano = 388,48\ kN$

$G09 := \frac{Fv_Rd_total}{kN} = 388,48$

Máxima carga q (ELU) possível em função da resistência de corte dos parafusos:

Vsd_max = Fr_Rd_total: $Vsd_max := q \cdot \frac{L}{2}$ $q_corte_paraf := 2 \cdot \frac{Fv_Rd_total}{L} = 184,99\ \frac{kN}{m}$

$G16 := \frac{q_corte_paraf}{\frac{kN}{m}} = 184,99$

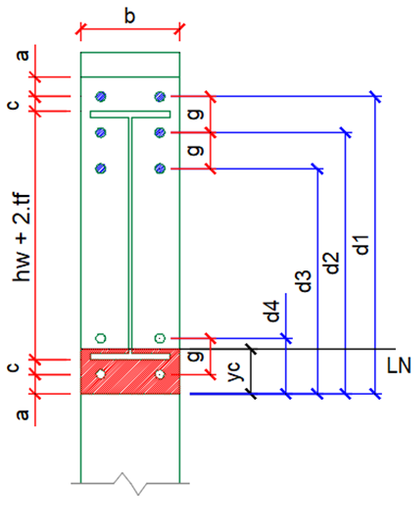
## Verificação de Tração nos Parafusos:

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

$Ft_Rd_por_paraf := \frac{0,75 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 72,839\ kN$

Qual o valor da solicitação de tração que ocorre no parafuso mais solicitado?

--> É necessário calcular a posição da LN para a solicitação de momento incidente, dado que a ligação por contato permite que as chapas deslizem e a distribuição de áreas resistentes é assimétrica.




Equilíbrio de Momentos Estáticos

$$b\,\frac{y_c^2}{2} = \sum A_i\,(d_i - y_c)$$

$h := hw + 2 \cdot tf + 2 \cdot a + 2 \cdot c = 420\ mm$

$d1 := h - a = 380\ mm$

$d2 := d1 - g = 335\ mm$

$d3 := d2 - g = 290\ mm$

$d4 := a + g = 85\ mm$

b.yc^2 / 2 = 2.Ab.(d1 - yc) + 2.Ab.(d2 - yc) + 2.Ab.(d3 - yc) + 2.Ab.(d4 - yc)

$yc1 := \max\left(\text{solve}\left(b \cdot \frac{(yc\ mm)^2}{2} - 2 \cdot Ab \cdot ((d1 - yc\ mm) + (d2 - yc\ mm) + (d3 - yc\ mm));\ yc\right)\right) mm = 44,7807\ mm$

$yc2 := \max\left(\text{solve}\left(b \cdot \frac{(yc\ mm)^2}{2} - 2 \cdot Ab \cdot ((d1 - yc\ mm) + (d2 - yc\ mm) + (d3 - yc\ mm) + (d4 - yc\ mm));\ yc\right)\right) mm = 45,71\ mm$

$yc := \text{if}\ \ yc1 > d4 = 45,71\ mm$
$\quad yc1$
$\quad \text{else}$
$\quad yc2$

Momento de Inércia da Seção Composta

$$I = b\frac{y_c^3}{3} + \sum A_i (d_i - y_c)^2$$

$I_sec_comp_1 := \frac{b \cdot yc1^3}{3} + 2 \cdot Ab \cdot (d1 - yc1)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d2 - yc1)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d3 - yc1)^2 = 7162,9\ cm^4$

$I_sec_comp_2 := \frac{b \cdot yc2^3}{3} + 2 \cdot Ab \cdot (d1 - yc2)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d2 - yc2)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d3 - yc2)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d4 - yc2)^2 = 7203,0\ cm^4$

$I_sec_comp := \text{if } yc = yc1 \quad = 7203\ cm^4$
$\quad I_sec_comp_1$
$\quad \text{else}$
$\quad I_sec_comp_2$

Força de tração solicitante no parafuso mais solicitado ( parafusos da linha de furação "1" ):

$$F_i = \frac{M}{I} y_i A_i$$

$Ft_Sd_por_paraf := \frac{Msd}{I_sec_comp} \cdot (d1 - yc) \cdot Ab = 31,544\ kN$

$Ft_Rd_por_paraf = 72,839\ kN \qquad Ft_Sd_por_paraf = 31,544\ kN$

$G08 := \frac{Ft_Sd_por_paraf}{kN} = 31,544 \qquad G10 := \frac{Ft_Rd_por_paraf}{Ft_Sd_por_paraf} = 2,3091$

---

## Verificação de Tração e Corte Simultâneos:

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

*Verificação sendo feita somente para o parafuso mais solicitado (linha "1" de furação)

$Fv_Sd_por_paraf := \frac{Vsd}{n_paraf} = 7,665\ kN$

$Fv_Rd_por_paraf := Fv_Rd_por_plano \cdot n_planos = 38,848\ kN$

$S_por_R := \left(\frac{Ft_Sd_por_paraf}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2 = 0,2265 < 1$ OK! Verifica!

$G11 := S_por_R = 0,22648$

---

## Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

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

$d_b := db = 12,7\ mm$

bf : borda de furo bc : borda de chapa

$l_bf_a_bf := g - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} = 30,8\ mm$

$l_bf_a_bc := a - \frac{(d_b + 1,5\ mm)}{2} = 32,9\ mm$

$lf := \min([\ l_bf_a_bf\ \ l_bf_a_bc\ ]) = 30,8\ mm$

$t := \min([\ t1\ \ t2\ ]) = 10\ mm$

$Fc_Rd1 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 109,51\ kN$

* Resistência ao rasgamento de chapa no furo mais desfavorável da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd2 := \frac{2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 90,311\ kN$ * Resistência de pressão de apoio por furo da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd_por_furo := \min([\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ ]) = 90,311\ kN$ * Resistência aos dois fenômenos por furo.

$G12 := \frac{Fc_Rd_por_furo}{Fv_Sd_por_paraf} = 11,782$

---

Resultados:

$D1 = 0,5$ $D2 = 0,6$ $D3 = 0,6$ $D4 = 1,2$ $D5 = 0,8$

| | | |
|---|---|---|
| $G01 = 81,456$ | $R01 := V_1 = 81,464$ | $N01 := gab(R01; G01) = 1$ |
| $G02 = 7,8797$ | $R02 := V_2 = 9999$ | $N02 := gab(R02; G02) = 0$ |
| $G03 = 194,1477$ | $R03 := V_3 = 323,01$ | $N03 := gab(R03; G03) = 0$ |
| $G04 = 395,4545$ | $R04 := V_4 = 435$ | $N04 := gab(R04; G04) = 0$ |
| $G05 = 0,71852$ | $R05 := V_5 = 0,7185$ | $N05 := gab(R05; G05) = 1$ |
| $G06 = 76,650$ | $R06 := V_6 = 76,65$ | $N06 := gab(R06; G06) = 1$ |
| $G07 = 53,655$ | $R07 := V_7 = 53,66$ | $N07 := gab(R07; G07) = 1$ |
| $G08 = 31,544$ | $R08 := V_8 = 19,322$ | $N08 := gab(R08; G08) = 0$ |
| $G09 = 388,48$ | $R09 := V_9 = 388,48$ | $N09 := gab(R09; G09) = 1$ |
| $G10 = 2,3091$ | $R10 := V_{10} = 3,7695$ | $N10 := gab(R10; G10) = 0$ |
| $G11 = 0,22648$ | $R11 := V_{11} = 0,1034$ | $N11 := gab(R11; G11) = 0$ |
| $G12 = 11,782$ | $R12 := V_{12} = 12,783$ | $N12 := gab(R12; G12) = 0$ |
| $G13 = 3,5199$ | $R13 := V_{13} = 2,5907$ | $N13 := gab(R13; G13) = 0$ |
| $G14 = 5,1592$ | $R14 := V_{14} = 5,6752$ | $N14 := gab(R14; G14) = 0$ |
| $G15 = 16,701$ | $R15 := V_{15} = 16,71$ | $N15 := gab(R15; G15) = 1$ |
| $G16 = 184,99$ | $R16 := V_{16} = 9999$ | $N16 := gab(R16; G16) = 0$ |

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

$Nota := Acertos \cdot peso = 4,2857$

---