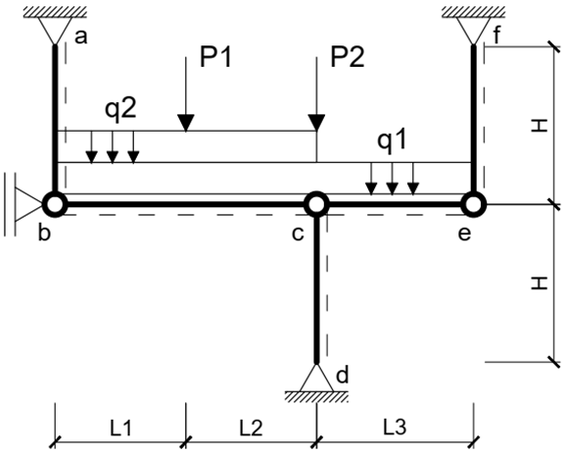
AM201-5MA

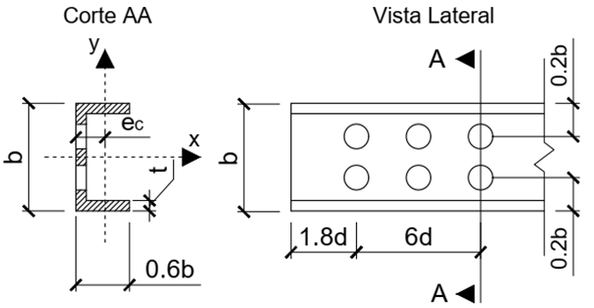
Problema A

Para o modelo estrutural esboçado ao lado, que será parte integrante de uma biblioteca, proceder as combinações de ações para os esforços axiais nas barras "ab" e "cd".
Em seguida, efetuar as verificações RSL, ESB e cisalhamento de bloco para a barra "ab" e de compressão simples, considerando a flambagem local de elementos AA e AL (enrijecidos e não enrijecidos) e flambagem por flexão para a barra "cd".



L1 = D1 m L2 = D1 m L3 = D1 m
H = 4,0 m
b = D2 mm (larguras das chapas dos perfis)
d = D3 mm (diâmetro nominal do parafuso)
t = 4,0 mm (espessuras das chapas dos perfis)

Detalhes das Seções Transversais das Pontas da Barra "ab"



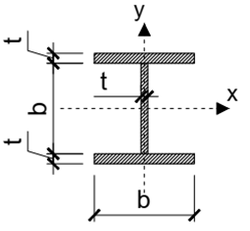
Cargas:

q1 = 4 kN/m (peso próprio de estrutura metálica: γg = 1,25)
q2 = 7 kN/m (acidental de ocupação: γq = 1,50 e ψo = 0,8)
P1 = D4 kN (acidental de ocupação: γq = 1,50 e ψo = 0,8)
P2 = 80 kN (equipamento fixo: γg = 1,50)

Demais condicionantes do problema:

- Tipo de Aço = D5 (250 para MR250, 350 para AR350 e 415 para AR415)
- Furos padrão;
- Os eixos "x" indicados nos perfis são assentes ao plano do papel enquanto que os eixos "y" são entrantes no 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;

Seção Transversal da Barra "cd"
(Perfil I Soldado)



$D1 := 2,5 \quad D2 := 110,00 \quad D3 := 20 \quad D4 := 180 \quad D5 := 250$

$L1 := D1\ \text{m} \quad H := 4,0\ \text{m} \quad t := 4\ \text{mm} \quad bf := b$

$L2 := D1\ \text{m} \quad b := D2\ \text{mm} \quad tw := t \quad hw := b$

$L3 := D1\ \text{m} \quad d := D3\ \text{mm} \quad tf := t$

$q1 := 4\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \gamma g_q1 := 1,25$

$q2 := 7\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \gamma q_q2 := 1,50 \quad \psi o_q2 := 0,8$

$P1 := D4\ \text{kN} \quad \gamma q_P1 := 1,50 \quad \psi o_P1 := 0,8$

$P2 := 80\ \text{kN} \quad \gamma g_P2 := 1,50$

$\gamma a1 := 1,10 \quad \gamma a2 := 1,35 \quad E := 200\ \text{GPa}$

$$\text{if } D5 = 250 \quad \left| \begin{array}{l} fy := 25\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ fu := 40\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{array} \right. \quad \text{else} \quad 0$$

$$\text{if } D5 = 350 \quad \left| \begin{array}{l} fy := 35\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ fu := 45\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{array} \right. \quad \text{else} \quad 0$$

$$\text{if } D5 = 415 \quad \left| \begin{array}{l} fy := 41,5\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ fu := 52\ \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{array} \right. \quad \text{else} \quad 0$$

Q01 – Qual o valor do máximo esforço axial que ocorre na barra "ab" (máximo esforço de tração) [em kN e com positivo para tração]?
Q02 – Qual o valor do mínimo esforço axial que ocorre na barra "cd" (máximo esforço de compressão) [em kN e com positivo para tração]?
Q03 – Qual o valor da força resistente de tração ESB da barra "ab" [em kN]?
Q04 – Qual o valor da força resistente de tração RSL da barra "ab" [em kN]?
Q05 – Qual o valor da força resistente ao cisalhamento de bloco da barra "ab" [em kN]?
Q06 – Qual o valor do coeficiente Ct utilizado para o cálculo da força resistente de tração RSL [adim.]?
Q07 – Qual o valor da área líquida de cisalhamento calculada para a verificação de cisalhamento de bloco [em cm^2]?
Q08 – Qual o valor da área líquida de tração calculada para a verificação de cisalhamento de bloco [em cm^2]?
Q09 – O fator de redução de resistência "Qa" relativo à flambagem local de elementos AA, para a barra "cd" é [adim]?
Q10 – O fator de redução de resistência "Qs" relativo à flambagem local de elementos AL, para a barra "cd" é [adim]?
Q11 – O fator de redução de resistência "χ" relativo à flambagem por flexão da barra "cd" em termos do eixo principal de inércia que apresenta a menor capacidade resistente é [adim]?
Q12 – A força resistente de compressão da barra "cd" é [em kN]?
Q13 – O índice de esbeltez da "cd" em relação ao giro do eixo "x" indicado no esboço da seção transversal é [adim.] ?
Q14 – Qual o valor da razão (resistência / solicitação) em termos de esforços de tração na barra "ab" [adim.]?
Q15 – Qual o valor da razão (resistência / solicitação) em termos de esforços de compressão na barra "cd" [adim.]?
Q16 – Qual a verificação determinante da capacidade resistente de tração da barra "ab" (responda com um dos números relativos às opções abaixo)?

1 – ESB 2 – RSL 3 – Cisalhamento de Bloco

Combinações de Ações:

$$Nab_q1 := \frac{q1 \cdot (L1 + L2)}{2} = 10\ kN$$

$$Nab_q2 := \frac{q2 \cdot (L1 + L2)}{2} = 17,5\ kN$$

$$Nab_P1 := \frac{P1}{2} = 90\ kN$$

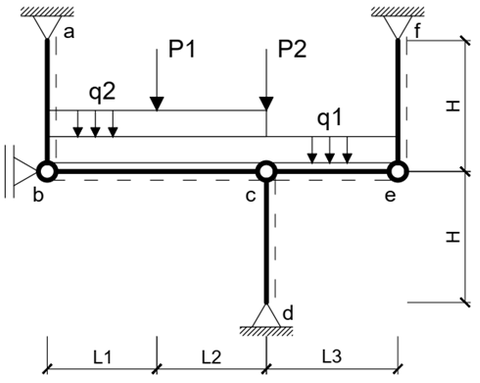
$$Nab_P2 := 0\ kN$$

$$Ncd_q1 := -\frac{q1 \cdot L3}{2} - \frac{q1 \cdot (L1 + L2)}{2} = -15\ kN$$

$$Ncd_q2 := -\frac{q2 \cdot (L1 + L2)}{2} = -17,5\ kN$$

$$Ncd_P1 := -\frac{P1}{2} = -90\ kN$$

$$Ncd_P2 := -P2 = -80\ kN$$



$$Nab_comb_q2 := \gamma g_q1 \cdot Nab_q1 + \gamma q_q2 \cdot Nab_q2 + \gamma q_P1 \cdot Nab_P1 \cdot \psi o_P1 = 146,75\ kN$$

$$Nab_comb_P1 := \gamma g_q1 \cdot Nab_q1 + \gamma q_P1 \cdot Nab_P1 + \gamma q_q2 \cdot Nab_q2 \cdot \psi o_q2 = 168,5\ kN$$

$$Ntsd := \max([\ Nab_comb_q2\ \ Nab_comb_P1\ ]) = 168,5\ kN$$

$$Ncd_comb_q2 := \gamma g_q1 \cdot Ncd_q1 + \gamma g_P2 \cdot Ncd_P2 + \gamma q_q2 \cdot Ncd_q2 + \gamma q_P1 \cdot Ncd_P1 \cdot \psi o_P1 = -273\ kN$$

$$Ncd_comb_P1 := \gamma g_q1 \cdot Ncd_q1 + \gamma g_P2 \cdot Ncd_P2 + \gamma q_P1 \cdot Ncd_P1 + \gamma q_q2 \cdot Ncd_q2 \cdot \psi o_q2 = -294,75\ kN$$

$$Ncsd := \left|\min([\ Ncd_comb_q2\ \ Ncd_comb_P1\ ])\right| = 294,75\ kN$$

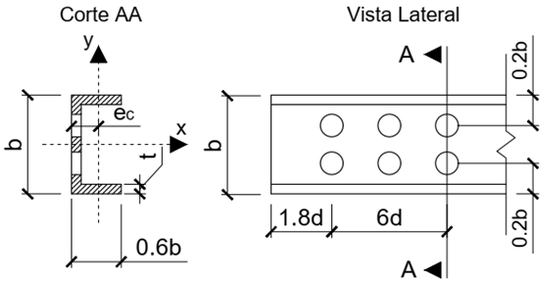
Verificações para a barra tracionada "ab":

ESB:

$Ag_u := (b - 2 \cdot t) \cdot t + 2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t = 9,36\ cm^2$

$Ntrd_ESB := \frac{Ag_u \cdot fy}{\gamma a1} = 212,7273\ kN$

Detalhes das Seções Transversais das Pontas da Barra "ab"



RSL:

$dpad := d + 3,5\ mm = 23,5\ mm$

$An := Ag_u - 2 \cdot dpad \cdot t = 7,48\ cm^2$

Cálculo do Ct:

$$ec := \frac{2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t \cdot \frac{0,6 \cdot b}{2} + (b - 2 \cdot t) \cdot t \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t + (b - 2 \cdot t) \cdot t} = 1,9487\ cm$$

$Lc := 6 \cdot d = 12\ cm$

$Ct_calc := 1 - \frac{ec}{Lc} = 0,8376$

```
Ct := if Ct_calc < 0,60   = 0,8376
        0
      else
        if Ct_calc > 0,90
          0,90
        else
          Ct_calc
```

$Ae := Ct \cdot An = 6,2653\ cm^2$

$Ntrd_RSL := \frac{Ae \cdot fu}{\gamma a2} = 185,6385\ kN$

CISALHAMENTO DE BLOCO:

$Agv := 2 \cdot (1,8 \cdot d + 6 \cdot d) \cdot t = 12,48\ cm^2$

$Cts := 1$

$Anv := Agv - 5 \cdot dpad \cdot t = 7,78\ cm^2$

$Ant := 0,6 \cdot b \cdot t - dpad \cdot t = 1,7\ cm^2$

$Ntrd_CIS1 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fu \cdot Anv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 188,6815\ kN$

$Ntrd_CIS2 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fy \cdot Agv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 189,037\ kN$

$Ntrd_CIS := \min([\ Ntrd_CIS1\ \ Ntrd_CIS2\ ]) = 188,6815\ kN$

$Ntrd := \min([\ Ntrd_CIS\ \ Ntrd_ESB\ \ Ntrd_RSL\ ]) = 185,6385\ kN$

```
VerifT := if Ntrd = Ntrd_ESB
            1
          else
            if Ntrd = Ntrd_RSL
              2
            else
              3
```

índice de Esbeltez da barra "ab"

$$Iy_plano := 2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t \cdot \left(\frac{0,6 \cdot b}{2}\right)^2 + (b - 2 \cdot t) \cdot t \cdot \left(\frac{t}{2}\right)^2 = 57,662\ cm^4$$

$$Iy_cg := Iy_plano + ec^2 \cdot Ag_u = 93,207\ cm^4$$

$$ry_u := \sqrt{\frac{Iy_plano}{Ag_u}} = 2,482\ cm$$

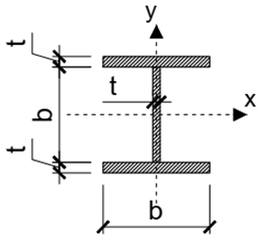
$$\lambda ab := \frac{H}{ry_u} = 161,16$$

Verificações para a barra comprimida "cd":

$Kx := 1,0 \qquad Lx := H = 400\ cm$

$Ky := 1,0 \qquad Ly := H = 400\ cm$

Seção Transversal da Barra "cd"
(Perfil I Soldado)



$$Ag_i := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 13,200\ cm^2$$

$$Ix := \frac{bf \cdot (hw + 2 \cdot tf)^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 330,40\ cm^4$$

$$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 88,792\ cm^4$$

$$rx := \sqrt{\frac{Ix}{Ag_i}} = 5,0030\ cm \qquad ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag_i}} = 2,5936\ cm$$

$$\lambda x := \frac{Kx \cdot Lx}{rx} = 79,952 \qquad \lambda y := \frac{Ky \cdot Ly}{ry} = 154,2269$$

Elemento AA - alma do perfil:

$$\lambda alma := \frac{hw}{tw} = 27,5$$

GRUPO 2: $\lambda lim_g2 := 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 42,1436$

$$bef_calc := 1,92 \cdot tw \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,34}{\lambda alma} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 14,1261\ cm$$

$$bef := \text{if } \lambda alma < \lambda lim_g2 = 11\ cm$$
$$\quad hw$$
$$\text{else}$$
$$\quad bef_calc$$

$$Aef := Ag_i - (hw - bef) \cdot tw = 13,2\ cm^2$$

$$Qa := \frac{Aef}{Ag_i} = 1$$

Elementos AL - mesas do perfil:

$$\lambda mesa := \frac{0,5 \cdot bf}{tf} = 13,75$$

GRUPO 5: $kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0,7628$

$$kc := \text{if } kc_calc > 0,90 \quad = 0,7628$$
$$\quad 0,90$$
$$\text{else}$$
$$\quad \text{if } kc_calc < 0,35$$
$$\quad\quad 0,35$$
$$\quad \text{else}$$
$$\quad\quad kc_calc$$

$\lambda r_g5 := 0,64 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{fy}{kc}}} = 15,8096$ $\lambda e_g5 := 1,17 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{fy}{kc}}} = 28,902$

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

$Q := Qa \cdot Qs = 1$

Análise do Eixo X:

$\lambda x := \begin{array}{l} \text{if } \lambda x > 200 \\ \quad 99999999 \\ \text{else} \\ \quad \lambda x \end{array} = 79,952$ $\lambda ox := \lambda x \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot fy}{\pi^{2} \cdot E}} = 0,8998$

$\chi x := \begin{array}{l} \text{if } \lambda ox \leq 1,5 \\ \quad \frac{0,658^{\lambda ox^{2}}}{} \\ \text{else} \\ \quad \frac{0,877}{\lambda ox^{2}} \end{array} = 0,7126$

$Ncrdx := \frac{Q \cdot \chi x \cdot Ag_i \cdot fy}{\gamma a1} = 213,7752 \text{ kN}$

Análise do Eixo Y:

$\lambda y := \begin{array}{l} \text{if } \lambda y > 200 \\ \quad 99999999 \\ \text{else} \\ \quad \lambda y \end{array} = 154,2269$ $\lambda oy := \lambda y \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot fy}{\pi^{2} \cdot E}} = 1,7357$

$\chi y := \begin{array}{l} \text{if } \lambda oy \leq 1,5 \\ \quad \frac{0,658^{\lambda oy^{2}}}{} \\ \text{else} \\ \quad \frac{0,877}{\lambda oy^{2}} \end{array} = 0,2911$

$Ncrdy := \frac{Q \cdot \chi y \cdot Ag_i \cdot fy}{\gamma a1} = 87,3354 \text{ kN}$

$Ncrd := \min([\, Ncrdx \;\; Ncrdy \,]) = 87,335 \text{ kN}$

$\chi := \min([\, \chi x \;\; \chi y \,]) = 0,29112$

$Ntrd := \begin{array}{l} \text{if } \lambda ab > 300 \\ \quad 0 \\ \text{else} \\ \quad Ntrd \end{array}$

$RT := \frac{Ntrd}{Ntsd} = 1,1017$

$RC := \frac{Ncrd}{Ncsd} = 0,2963$

Resultados:

$G01 := \frac{Ntsd}{kN} = 168,50$	$R01 := V_1 = 133,28$	$N01 := gab(R01 ; G01) = 0$
$G02 := \frac{Ncsd}{kN} = 294,75$	$R02 := V_2 = 397,45$	$N02 := gab(R02 ; G02) = 0$
$G03 := \frac{Ntrd_ESB}{kN} = 212,73$	$R03 := V_3 = 212,73$	$N03 := gab(R03 ; G03) = 1$
$G04 := \frac{Ntrd_RSL}{kN} = 185,64$	$R04 := V_4 = 193,04$	$N04 := gab(R04 ; G04) = 1$
$G05 := \frac{Ntrd_CIS}{kN} = 188,68$	$R05 := V_5 = 412,15$	$N05 := gab(R05 ; G05) = 0$
$G06 := \frac{Ct}{1} = 0,83761$	$R06 := V_6 = 0,862$	$N06 := gab(R06 ; G06) = 1$
$G07 := \frac{Anv}{cm^2} = 7,7800$	$R07 := V_7 = 14,946$	$N07 := gab(R07 ; G07) = 0$
$G08 := \frac{Ant}{cm^2} = 1,7000$	$R08 := V_8 = 5,66$	$N08 := gab(R08 ; G08) = 0$
$G09 := \frac{Qa}{1} = 1,0000$	$R09 := V_9 = 1$	$N09 := gab(R09 ; G09) = 1$
$G10 := \frac{Qs}{1} = 1,0000$	$R10 := V_{10} = 1$	$N10 := gab(R10 ; G10) = 1$
$G11 := \frac{\chi}{1} = 0,29112$	$R11 := V_{11} = 0,7126$	$N11 := gab(R11 ; G11) = 0$
$G12 := \frac{Ncrd}{kN} = 87,335$	$R12 := V_{12} = 213,78$	$N12 := gab(R12 ; G12) = 0$
$G13 := \frac{\lambda x}{1} = 79,952$	$R13 := V_{13} = 80$	$N13 := gab(R13 ; G13) = 1$
$G14 := \frac{RT}{1} = 1,1017$	$R14 := V_{14} = 0,69$	$N14 := gab(R14 ; G14) = 0$
$G15 := \frac{RC}{1} = 0,2963$	$R15 := V_{15} = 1,86$	$N15 := gab(R15 ; G15) = 0$
$G16 := \frac{VerifT}{1} = 2,0000$	$R16 := V_{16} = 2$	$N16 := gab(R16 ; G16) = 1$

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

$Nota := Acertos \cdot peso = 4,375$
