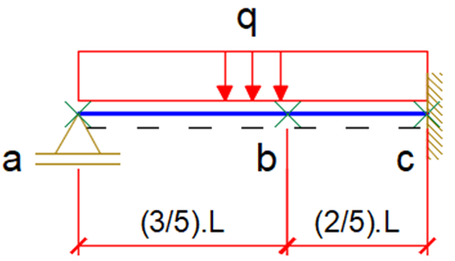
B2T5NA0526A

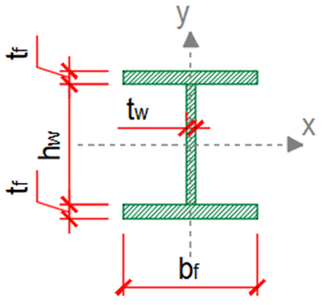
Considerando somente a verificação FLT, calcule a razão momento resistente / momento solicitante para o modelo de viga esboçado ao lado. Em seguida proceda a verificação de flecha e calcule a razão entre flecha limite / flecha calculada.



Perfil I Soldado em aço AR-350 com as seguintes dimensões:

$bf := 180\ mm$ $tf := 12,5\ mm$ $L := 7\ m$

$hw := 350\ mm$ $tw := 6,3\ mm$



- Combinação normal em ELU e quase-permanente em ELS sendo a viga parte de um edificação residencial de acesso restrito compondo um piso;
- Viga travada lateralmente nos pontos "a", "b" e "c";

- Cargas distribuídas incidentes na viga:

- peso próprio de estrutura metálica

$q1 := 5\ \frac{kN}{m}$ $\gamma 1 := 1,25$

- acidental de ocupação

$q2 := 15\ \frac{kN}{m}$ $\gamma 2 := 1,50$ $\psi 2 := 0,3$

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

Q01 - Qual o valor do fator Cb para o trecho "ab" do modelo de viga? [adim.]
Q02 - Qual o valor do fator Cb para o trecho "bc" do modelo de viga? [adim.]
Q03 - Qual o momento fletor resistente FLT do trecho mais desfavorável da viga "abc"? [em kNm]
Q04 - Qual o valor da razão momento resistente FLT / momento solicitante na viga "abc"? [adim.]
Q05 - Qual o valor da razão flecha limite / flecha calculada na viga "abc"? [adim.]

Propriedades Geométricas:

$d := 2 \cdot tf + hw = 375\ mm$ $Ag := 2 \cdot bf \cdot tf + hw \cdot tw = 67,05\ cm^2$

$Ix := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 17040\ cm^4$ $Wx := \frac{Ix}{0,5 \cdot d} = 908,80\ cm^3$ $rx := \sqrt{\frac{Ix}{Ag}} = 15,942\ cm$

$Iy := \frac{2 \cdot tf \cdot bf^3}{12} + \frac{hw \cdot tw^3}{12} = 1215,7\ cm^4$ $Wy := \frac{Iy}{0,5 \cdot bf} = 135,08\ cm^3$ $ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag}} = 4,2581\ cm$

$Zx := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \frac{(hw + tf)}{2} + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \frac{hw}{4} \right) = 1008,6\ cm^3$ $Cw := \frac{Iy \cdot (d - tf)^2}{4} = 3,9939 \cdot 10^5\ cm^6$

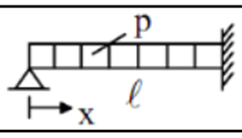
$J := \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot bf \cdot tf^3 + hw \cdot tw^3 \right) = 26,355\ cm^4$ $\beta 1 := \frac{0,7 \cdot fy \cdot Wx}{E \cdot J} = 0,042242\ \frac{1}{cm}$

Combinações de Ações:

Combinação Normal ELU: $q_elu := \gamma 1 \cdot q1 + \gamma 2 \cdot q2 = 28,750 \ \frac{kN}{m}$

Combinação Quase-Permanente ELS: $q_els := q1 + \psi 2 \cdot q2 = 9,5 \ \frac{kN}{m}$

Solicitações Máximas (ELU)

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

$\delta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{48 \cdot E \cdot Ix} \cdot \left[-2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^4 + 3 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 - \left(\frac{x}{L}\right) \right]$ $\quad L = 7 \ m$

$\theta(x) := \frac{d}{dx}\delta(x)$ ===> $\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{48 \cdot E \cdot Ix} \cdot \left[-8 \cdot \frac{x^3}{L^4} + 9 \cdot \frac{x^2}{L^3} - \frac{1}{L} \right]$

$M(x) := E \cdot Ix \cdot \frac{d}{dx}\theta(x)$ ===> $M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left[-24 \cdot \frac{x^2}{L^4} + 18 \cdot \frac{x}{L^3} \right]$

$V(x) := \frac{d}{dx}M(x)$ ===> $V(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{48} \cdot \left[-48 \cdot \frac{x}{L^4} + 18 \cdot \frac{1}{L^3} \right]$

* Momentos nas extremidades da viga:

$M_0 := M(0) = 0$ $\quad M_L := M(L) = -176,09 \ kN \ m$

* Valor extremo de momento no meio do intervalo:

'M(x) = 0 $\quad x_ext := \frac{18}{48} \cdot L = 2,625 \ m$ $\quad M_{ext} := M(x_ext) = 99,053 \ kN \ m$

* Cortantes nas extremidades da viga:

$V_0 := V(0) = 75,469 \ kN$ $\quad V_L := V(L) = -125,78 \ kN$

$Msd := \max\left(\left[\left|M_0\right| \left|M_L\right| \left|M_{ext}\right|\right]\right) = 176,09 \ kN \ m$ $\quad Vsd := \max\left(\left[\left|V_0\right| \left|V_L\right|\right]\right) = 125,78 \ kN$

Verificação de Momentos Resistentes FLT:

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

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

Nota 1 :

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

Trecho "ab":

$ry = 4,2581 \ cm$ $\quad Lb_ab := \frac{3}{5} \cdot L = 420 \ cm$

$\lambda_{VIGA1} := \frac{Lb_ab}{ry} = 98,63$ $\lambda_{pFLT} := 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 42,07$

$\lambda_{rFLT} := \frac{1,38 \cdot \sqrt{Iy \cdot J}}{ry \cdot J \cdot \beta 1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot Cw \cdot \beta 1^2}{Iy}}} = 117,7$

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_Viga1 := if λ_VIGA1 ≤ λ_pFLT          = "Intermediária"
                   "Curta"
                 else
                   if λ_VIGA1 ≤ λ_rFLT
                     "Intermediária"
                   else
                     "Esbelta"
```

$Mpl := Zx \cdot fy = 353$ kN m $\quad Mr := Wx \cdot 0,7 \cdot fy = 222,7$ kN m

Cálculo do Fator Cb1 :

$Ma1 := \left|M\left(0,25 \cdot Lb_ab\right)\right| = 63,39$ kN m $\quad Mb1 := \left|M\left(0,50 \cdot Lb_ab\right)\right| = 95,09$ kN m

$Mc1 := \left|M\left(0,75 \cdot Lb_ab\right)\right| = 95,09$ kN m

Como x_ext está no intervalo "ab": $M_max1 := \left|M\left(x_ext\right)\right| = 99,05$ kN m

$$Cb1 := \min\left(\left[\frac{12,5 \cdot M_max1}{2,5 \cdot M_max1 + 3 \cdot Ma1 + 4 \cdot Mb1 + 3 \cdot Mc1} \quad 3\right]\right) = 1,1221$$

```
Mrd_FLT1 := if λ_VIGA1 ≤ λ_pFLT                                   = 260,6443 kN m
              Mpl
              γa1
            else
              if λ_VIGA1 ≤ λ_rFLT
                min([ Cb1/γa1 · (Mpl − (Mpl − Mr) · (λ_VIGA1 − λ_pFLT)/(λ_rFLT − λ_pFLT)) Mpl/γa1 ])
              else
                min([ Cb1 · π^2 · E · Iy / (Lb^2 · γa1) · √(Cw/Iy · (1 + 0,039 · J · Lb^2/Cw)) Mpl/γa1 ])
```

Trecho "ab":

$Lb_bc := \frac{2}{5} \cdot L = 280$ cm $\quad \lambda_{VIGA2} := \frac{Lb_bc}{ry} = 65,76$

```
Tipo_de_Viga1 := if λ_VIGA2 ≤ λ_pFLT          = "Intermediária"
                   "Curta"
                 else
                   if λ_VIGA2 ≤ λ_rFLT
                     "Intermediária"
                   else
                     "Esbelta"
```

Cálculo do Fator Cb2 :

$Ma2 := \left|M\left(0,25 \cdot Lb_bc + Lb_ab\right)\right| = 24,65$ kN m $\quad Mb2 := \left|M\left(0,50 \cdot Lb_bc + Lb_ab\right)\right| = 28,17$ kN m

$Mc2 := \left|M\left(0,75 \cdot Lb_bc + Lb_ab\right)\right| = 95,09$ kN m

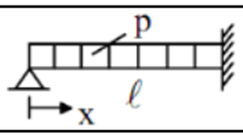
Máximo momento em módulo do trecho ocorre no apoio "c": $M_max2 := |M(L)| = 176,1\ kN\ m$

$$Cb2 := \min\left(\left[\ \frac{12,5 \cdot M_max2}{2,5 \cdot M_max2 + 3 \cdot Ma2 + 4 \cdot Mb2 + 3 \cdot Mc2}\ \ 3\ \right]\right) = 2,4131$$

$$Mrd_FLT2 := \text{if}\ \ \lambda_{VIGA2} \le \lambda_{pFLT} \qquad = 320,9\ kN\ m$$
$$\frac{Mpl}{\gamma a1}$$
$$\text{else}$$
$$\text{if}\ \ \lambda_{VIGA1} \le \lambda_{rFLT}$$
$$\min\left(\left[\ \frac{Cb2}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{\left(\lambda_{VIGA1} - \lambda_{pFLT}\right)}{\left(\lambda_{rFLT} - \lambda_{pFLT}\right)}\right)\ \ \frac{Mpl}{\gamma a1}\ \right]\right)$$
$$\text{else}$$
$$\min\left(\left[\ \frac{Cb2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot Iy}{Lb^2 \cdot \gamma a1} \cdot \sqrt{\frac{Cw}{Iy} \cdot \left(1 + \frac{0,039 \cdot J \cdot Lb^2}{Cw}\right)}\ \ \frac{Mpl}{\gamma a1}\ \right]\right)$$

$$Mrd_FLT := \min\left(\left[\ Mrd_FLT1\ \ Mrd_FLT2\ \right]\right) = 260,64\ kN\ m$$

Verificação de Deslocamentos Máximos:

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

$$\delta calc := \frac{3 \cdot q_els \cdot L^4}{554 \cdot E \cdot Ix} = 0,3624\ cm$$

$$\delta lim := \frac{L}{350} = 2,0000\ cm$$

Q01 - Qual o valor do fator Cb para o trecho "ab" do modelo de viga? [adim.]
Q02 - Qual o valor do fator Cb para o trecho "bc" do modelo de viga? [adim.]
Q03 - Qual o momento fletor resistente FLT do trecho mais desfavorável da viga "abc"? [em kNm]
Q04 - Qual o valor da razão momento resistente FLT / momento solicitante na viga "abc"? [adim.]
Q05 - Qual o valor da razão flecha limite / flecha calculada na viga "abc"? [adim.]

$$Q01 := Cb1 = 1,1221$$

$$Q02 := Cb2 = 2,4131$$

$$Q03 := Mrd_FLT = 260,64\ kN\ m$$

$$Q04 := \frac{Mrd_FLT}{Msd} = 1,4801$$

$$Q05 := \frac{\delta lim}{\delta calc} = 5,5183$$
