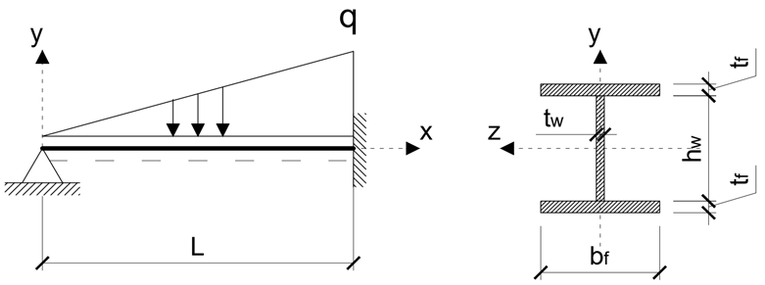
B2T5MA0508A

Para a viga esboçada calcular o máximo vão L possível de ser adotado de modo que a mesma ainda atenda as verificações de Momentos Fletores (em FLA e FLM), de esforços cortantes e de deslocamentos máximos (flechas)

- Viga travada lateralmente ao longo de todo o comprimento longitudinal L;
- Viga de piso de uma edificação comercial;
- Combinações Normais em ELU e Quase Permanentes em ELS;
- A viga não possui enrijecedores transversais;
- Perfil I soldado;



Dados:
q1 = D1 kN/m (carga de peso próprio de estrutura metálica)
q2 = D2 kN/m (carga acidental de ocupação)
bf = D3 mm
tf = 8 mm
hw = D4 mm
tw = 8 mm
Aço = D5 (tensão de escoamento em MPa)

$D1 = 6 \quad D2 = 20 \quad D3 = 200 \quad D4 = 350 \quad D5 = 250 \quad E := 200\ \text{GPa}$

$q1 := D1\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q2 := D2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad bf := D3\ \text{mm} \quad tf := 8\ \text{mm} \quad hw := D4\ \text{mm} \quad tw := 8\ \text{mm} \quad fy := D5\ \text{MPa} \quad \gamma a1 := 1,1$

Q01 – Qual o módulo plástico da seção transversal em relação ao eixo "z" [em cm^3]?
Q02 – Qual o módulo elástico da seção transversal em relação ao eixo "z" [em cm^3]?
Q03 – Qual o momento fletor resistente da seção transversal em relação à verificação FLA [em kNm]?
Q04 – Qual o momento fletor resistente da seção transversal em relação à verificação FLM [em kNm]?
Q05 – Qual o esforço cortante resistente da seção transversal [em kN]?
Q06 – Qual o valor do carregamento em combinação normal ELU para a viga [em kN/m]?
Q07 – Qual o valor do carregamento em combinação quase permanente ELS para a viga [em kN/m]?
Q08 – Qual o máximo valor de "L", possível de ser adotado, de modo que a verificação de momentos fletores FLA ainda seja atendida [em m]?
Q09 – Qual o máximo valor de "L", possível de ser adotado, de modo que a verificação de momentos fletores FLM ainda seja atendida [em m]?
Q10 – Qual o máximo valor de "L", possível de ser adotado, de modo que a verificação de esforços cortantes ainda seja atendida [em m]?
Q11 – Qual o máximo valor de "L", possível de ser adotado, de modo que a verificação de flecha ainda seja atendida [em m]?

Propriedades Geométricas Básicas / Momentos Fletores Resistentes Básicos:

Chamando de "z" o eixo horizontal da seção trasnsversal:

$d := 2 \cdot tf + hw = 36,600\ \text{cm}$

$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 13113\ \text{cm}^4$

$Wz := \frac{Iz}{0,5 \cdot d} = 716,57\ \text{cm}^3$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \left(\frac{tf}{2} + \frac{hw}{2} \right) + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \left(\frac{hw}{4} \right) \right) = 817,8\ \text{cm}^3$

$My := Wz \cdot fy = 17910\ \text{kN cm}$

$Mpl := Zz \cdot fy = 20440\ \text{kN cm}$

$Mrd_lim := \frac{1,5 \cdot Wz \cdot fy}{\gamma a1} = 24430\ \text{kN cm}$

Combinações de Ações:

$\gamma g := 1,3 \qquad \gamma q := 1,5 \qquad \psi 2 := 0,4$

$q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 37,800\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$q_els := q1 + \psi 2 \cdot q2 = 14\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Momento Resistente FLA :

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

$\lambda_{FLA} := \frac{hw}{tw} = 43,75$

$\lambda_{pFLA} := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 106,3489$

$\lambda_{rFLA} := 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 161,2203$

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)

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA} \quad = 185,86\ \text{kN m}$

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

$\quad \text{else}$

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

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

$\quad \text{"Compacta"}$

$\quad \text{else}$

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

$\quad \text{"Semicompacta"}$

$\quad \text{else}$

$\quad \text{"Esbelta"}$

Momento Resistente FLM :

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

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

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

$kc_calc := \frac{4}{\sqrt{\frac{hw}{tw}}} = 0{,}60474$

$kc :=$ if $kc_calc > 0{,}76$ $= 0{,}60474$
$\quad 0{,}76$
$\quad$ else
$\quad\quad$ if $kc_calc < 0{,}35$
$\quad\quad\quad 0{,}35$
$\quad\quad$ else
$\quad\quad\quad kc_calc$

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)

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

$\lambda_{rFLM} := 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\frac{(fy - 0{,}30 \cdot fy)}{kc}}} = 24{,}975$

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 12540$ kN cm

*** Perfil simétrico em relação ao eixo "z" logo: $Wc := W$

$Mrd_FLM :=$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM}$ $= 177{,}0$ kN m
$\quad \frac{Mpl}{\gamma a1}$
$\quad$ else
$\quad\quad$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{rFLM}$
$\quad\quad\quad \frac{1}{\gamma a1} \cdot \left(Mpl - (Mpl - Mr) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})}\right)$
$\quad\quad$ else
$\quad\quad\quad \frac{0{,}90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^{\,2}} \cdot Wc$

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

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

$V_{pl} = 0{,}60A_w f_y = 0{,}60dt_w f_y$

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

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.

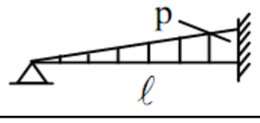
$Aw := d \cdot tw = 29{,}28$ cm^2 $Vpl := 0{,}60 \cdot Aw \cdot fy = 439{,}2$ kN $kv := 5{,}0$

$\lambda_{CIS} := \frac{hw}{tw} = 43,75$ $\lambda_{pCIS} := 1,10 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 69,5701$ $\lambda_{rCIS} := 1,37 \cdot \sqrt{\frac{kv \cdot E}{fy}} = 86,6464$

$Tipo_de_Alma_CIS :=$ if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS}$ $=$ "Compacta"
"Compacta"
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
"Semicompacta"
else
"Esbelta"

$Vrd :=$ if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS}$ $= 399,2727$ kN
$\frac{Vpl}{\gamma a1}$
else
if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{rCIS}$
$\frac{\lambda_{pCIS} \cdot Vpl}{\lambda_{CIS} \cdot \gamma a1}$
else
$1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_{pCIS}}{\lambda_{CIS}}\right)^2 \cdot \frac{Vpl}{\gamma a1}$

Solicitações Máximas:

	$\frac{3}{1258}\frac{pL^4}{EI}$	0,447 L	$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5 + 2\alpha^3 - \alpha)$

$\theta(x) := \frac{d}{dx}\delta(x)$ --> $\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{120 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-5 \cdot \left(\frac{x^4}{L^5}\right) + 6 \cdot \left(\frac{x^2}{L^3}\right) - \frac{1}{L}\right)$

$M(x) := E \cdot Iz \cdot \frac{d}{dx}\theta(x)$ --> $M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{120} \cdot \left(-20 \cdot \left(\frac{x^3}{L^5}\right) + 12 \cdot \left(\frac{x}{L^3}\right)\right)$ --> $M(x) := q_elu \cdot \left(-\frac{x^3}{6 \cdot L} + \frac{L \cdot x}{10}\right)$

$V(x) := \frac{d}{dx}M(x)$ --> $V(x) := q_elu \cdot \left(-\frac{x^2}{2 \cdot L} + \frac{L}{10}\right)$

Posição do máximo momento fletor: M'(x) = V(x) = 0 $x := \sqrt{\frac{2 \cdot L^2}{10}}$ $x := \frac{L}{\sqrt{5}}$

$M_ext := q_elu \cdot \left(-\frac{L^3}{6 \cdot 5 \cdot \sqrt{5} \cdot L} + \frac{L^2}{10 \cdot \sqrt{5}}\right)$ --> $M_ext := q_elu \cdot \left(\frac{\sqrt{5}}{75} \cdot L^2\right)$ -->$M_ext := q_elu \cdot \left(0,0298 \cdot L^2\right)$

$M_0 := M(0) = 0,0000$ $M_L := q_elu \cdot \left(-\frac{L^3}{6 \cdot L} + \frac{L \cdot L}{10}\right)$ --> $M_L := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{15}\right)$--> $M_L := q_elu \cdot \left(-0,0667 \cdot L^2\right)$

$M_max := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{15}\right)$

$V_0 := \frac{q_elu \cdot L}{10}$ $V_L := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{2 \cdot L} + \frac{L}{10}\right)$--> $V_L := \frac{-2 \cdot q_elu \cdot L}{5}$--> $V_max := \frac{2 \cdot q_elu \cdot L}{5}$

Igualando Solicitações e Resistências e calculando os máximos vãos:

Msd = Mrd :

$$M_max := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{15} \right) \qquad Mrd_FLA = 185,86 \text{ kN m} \qquad Mrd_FLM = 177,01 \text{ kN m}$$

$$L_{FLA} := \sqrt{\frac{15 \cdot Mrd_FLA}{q_elu}} = 8,5881 \text{ m} \qquad L_{FLM} := \sqrt{\frac{15 \cdot Mrd_FLM}{q_elu}} = 8,3811 \text{ m}$$

Vsd = Vrd :

$$V_max := \frac{2 \cdot q_elu \cdot L}{5} \qquad Vrd = 399,27 \text{ kN}$$

$$L_V := \frac{5 \cdot Vrd}{2 \cdot q_elu} = 26,407 \text{ m}$$

δ calc. = δ lim:

$$\delta lim := \frac{L}{350} \qquad \delta calc := \frac{3 \cdot q_els \cdot L^4}{1258 \cdot E \cdot Iz}$$

$$L_\delta := \left(\frac{1258 \cdot E \cdot Iz}{350 \cdot 3 \cdot q_els} \right)^{\frac{1}{3}} = 13,093 \text{ m}$$

Resultados:

$G01 := \frac{Zz}{3\ cm} = 817,8$ $R01 := V_1 = 817,8$ $N01 := gab(R01; G01) = 1$

$G02 := \frac{Wz}{3\ cm} = 716,5661$ $R02 := V_2 = 716,57$ $N02 := gab(R02; G02) = 1$

$G03 := \frac{Mrd_FLA}{kN\ m} = 185,8636$ $R03 := V_3 = 185,86$ $N03 := gab(R03; G03) = 1$

$G04 := \frac{Mrd_FLM}{kN\ m} = 177,0139$ $R04 := V_4 = 232,5$ $N04 := gab(R04; G04) = 0$

$G05 := \frac{Vrd}{kN} = 399,2727$ $R05 := V_5 = 399,3$ $N05 := gab(R05; G05) = 1$

$G06 := \frac{q_elu}{kN\ m^{-1}} = 37,8$ $R06 := V_6 = 37,5$ $N06 := gab(R06; G06) = 1$

$G07 := \frac{q_els}{kN\ m^{-1}} = 14$ $R07 := V_7 = 14$ $N07 := gab(R07; G07) = 1$

$G08 := \frac{L_{FLA}}{m} = 8,5881$ $R08 := V_8 = 5,45$ $N08 := gab(R08; G08) = 0$

$G09 := \frac{L_{FLM}}{m} = 8,3811$ $R09 := V_9 = 6,09$ $N09 := gab(R09; G09) = 0$

$G10 := \frac{L_V}{m} = 26,4069$ $R10 := V_{10} = 4,647$ $N10 := gab(R10; G10) = 0$

$G11 := \frac{L_\delta}{m} = 13,0928$ $R11 := V_{11} = 31,55$ $N11 := gab(R11; G11) = 0$

$G12 := \frac{0}{kN} = 0,000$ $R12 := V_{12} = 9999$ $N12 := gab(R12; G12) = 0$

$G13 := \frac{0}{kN} = 0,000$ $R13 := V_{13} = 9999$ $N13 := gab(R13; G13) = 0$

$G14 := \frac{0}{kN} = 0,000$ $R14 := V_{14} = 9999$ $N14 := gab(R14; G14) = 0$

$G15 := \frac{0}{kN\ m} = 0,000$ $R15 := V_{15} = 9999$ $N15 := gab(R15; G15) = 0$

$G16 := \frac{0}{kN\ m} = 0,000$ $R16 := V_{16} = 9999$ $N16 := gab(R16; G16) = 0$

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

$Nota := Acertos.peso = 0,27273$