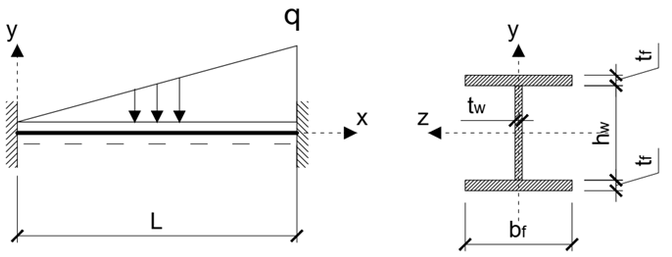
B2T5NB0508A

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 = 6,3 mm
hw = D4 mm
tw = 6,3 mm
Aço = D5 (tensão de escoamento em MPa)

$D1 = 8 \quad D2 = 20 \quad D3 = 200 \quad D4 = 350 \quad D5 = 250 \quad E := 200\ \text{GPa}$

$q1 := D1\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q2 := D2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad bf := D3\ \text{mm} \quad tf := 10\ \text{mm} \quad hw := D4\ \text{mm} \quad tw := 8\ \text{mm} \quad fy := D5\ \text{MPa} \quad \gamma a1 := 1,1$

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:

$d := 2 \cdot tf + hw = 37{,}000\ \text{cm}$

$Iz := \frac{bf \cdot d^3}{12} - \frac{(bf - tw) \cdot hw^3}{12} = 15822\ \text{cm}^4$

$Wz := \frac{Iz}{0{,}5 \cdot d} = 855{,}23\ \text{cm}^3$

$Zz := 2 \cdot \left(bf \cdot tf \cdot \left(\frac{tf}{2} + \frac{hw}{2} \right) + \frac{hw}{2} \cdot tw \cdot \left(\frac{hw}{4} \right) \right) = 965\ \text{cm}^3$

$My := Wz \cdot fy = 21380\ \text{kN cm}$

$Mpl := Zz \cdot fy = 24120\ \text{kN cm}$

$Mrd_lim := \frac{1{,}5 \cdot Wz \cdot fy}{\gamma a1} = 29160\ \text{kN cm}$

Combinações de Ações:

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

$q_elu := \gamma g \cdot q1 + \gamma q \cdot q2 = 40{,}400\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$q_els := q1 + \psi 2 \cdot q2 = 16\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

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)

$Mrd_FLA := \text{if } \lambda_{FLA} \le \lambda_{pFLA} \quad = 219{,}32\ \text{kN m}$

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

$\quad \text{else}$

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

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

$\quad \text{"Compacta"}$

$\quad \text{else}$

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

$\quad \text{"Semicompacta"}$

$\quad \text{else}$

$\quad \text{"Esbelta"}$

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

$\lambda_{FLM} := \frac{0{,}5 \cdot bf}{tf} = 10$

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

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

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

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

$Mr := (fy - 0{,}3 \cdot fy) \cdot Wz = 14966$ kN cm

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

$Mrd_FLM :=$ if $\lambda_{FLM} \le \lambda_{pFLM} \quad = 219{,}3$ 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
$\frac{0{,}90 \cdot E \cdot kc}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wc$

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

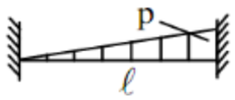
$Aw := d \cdot tw = 29{,}6$ cm^2 $Vpl := 0{,}60 \cdot Aw \cdot fy = 444$ kN $kv := 5{,}0$

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

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

$Vrd :=$ if $\lambda_{CIS} \le \lambda_{pCIS}$ $= 403,6364$ 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:

	$\frac{1}{764}\frac{pL^4}{EI}$	0,525 L	$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5 + 3\alpha^3 - 2\alpha^2)$

$\theta(x) := \frac{d}{dx}\delta(x)$ --> $\theta(x) := \frac{q_els \cdot L^4}{120 \cdot E \cdot Iz} \cdot \left(-5 \cdot \left(\frac{x^4}{L^5}\right) + 9 \cdot \left(\frac{x^2}{L^3}\right) - 4 \cdot \left(\frac{x}{L^2}\right)\right)$

$M(x) := E \cdot Iz \cdot \frac{d}{dx}\theta(x)$ --> $M(x) := \frac{q_elu \cdot L^4}{120} \cdot \left(-20 \cdot \left(\frac{x^3}{L^5}\right) + 18 \cdot \left(\frac{x}{L^3}\right) - 4 \cdot \left(\frac{1}{L^2}\right)\right)$

$M(x) := q_elu \cdot \left(-\frac{x^3}{6 \cdot L} + \frac{3 \cdot L \cdot x}{20} - \frac{L^2}{30}\right)$

$V(x) := \frac{d}{dx}M(x)$ --> $V(x) := q_elu \cdot \left(-\frac{x^2}{2 \cdot L} + \frac{3 \cdot L}{20}\right)$

Posição do máximo momento fletor: M'(x) = V(x) = 0 $x := \sqrt{\frac{6 \cdot L^2}{20}}$ $x := \sqrt{\frac{3}{10}} \cdot L$

$M_ext := q_elu \cdot \left(-\frac{3}{10} \cdot \sqrt{\frac{3}{10}} \cdot \frac{L^3}{6 \cdot L} + \frac{3 \cdot L^2}{20} \cdot \sqrt{\frac{3}{10}} \cdot L - \frac{L^2}{30}\right)$ --> $M_ext := q_elu \cdot \left(0,021493 \cdot L^2\right)$

$M_0 := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{30}\right)$ --> $M_0 := q_elu \cdot \left(-0,0333 \cdot L^2\right)$

$M_L := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{6} + \frac{3 \cdot L^2}{20} - \frac{L^2}{30}\right)$ --> $M_L := q_elu \cdot \left(-0,05 \cdot L^2\right)$

$M_max := q_elu \cdot \left(0,05 \cdot L^2\right)$

$V_0 := \frac{3 \cdot q_elu \cdot L}{30}$ --> $V_0 := 0,10 \cdot q_elu \cdot L$

$V_L := q_elu \cdot \left(-\frac{L^2}{2 \cdot L} + \frac{3 \cdot L}{20} \right)$ --> $V_L := -0,35 \cdot q_elu \cdot L$

$V_max := 0,35 \cdot q_elu \cdot L$

Igualando Solicitações e Resistências e calculando os máximos vãos:

Msd = Mrd :

$M_max := q_elu \cdot \left(0,05 \cdot L^2 \right)$ $Mrd_FLA = 219,32\ \text{kN m}$ $Mrd_FLM = 219,32\ \text{kN m}$

$L_{FLA} := \sqrt{\frac{Mrd_FLA}{0,05 \cdot q_elu}} = 10,420\ \text{m}$ $L_{FLM} := \sqrt{\frac{Mrd_FLM}{0,05 \cdot q_elu}} = 10,4199\ \text{m}$

Vsd = Vrd :

$V_max := 0,35 \cdot q_elu \cdot L$ $Vrd = 403,64\ \text{kN}$

$L_V := \frac{Vrd}{0,35 \cdot q_elu} = 28,546\ \text{m}$

δ calc. = δ lim:

$\delta lim := \frac{L}{350}$ $\delta calc := \frac{1 \cdot q_els \cdot L^4}{764 \cdot E \cdot Iz}$

$L_\delta := \left(\frac{764 \cdot E \cdot Iz}{350 \cdot 1 \cdot q_els} \right)^{\frac{1}{3}} = 16,283\ \text{m}$

Resultados:

$G01 := \frac{Zz}{3\ cm} = 965$

$G02 := \frac{Wz}{3\ cm} = 855,2252$

$G03 := \frac{Mrd_FLA}{kN\ m} = 219,3182$

$G04 := \frac{Mrd_FLM}{kN\ m} = 219,3182$

$G05 := \frac{Vrd}{kN} = 403,6364$

$G06 := \frac{q_elu}{kN\ m^{-1}} = 40,4$

$G07 := \frac{q_els}{kN\ m^{-1}} = 16$

$G08 := \frac{L_{FLA}}{m} = 10,4199$

$G09 := \frac{L_{FLM}}{m} = 10,4199$

$G10 := \frac{L_V}{m} = 28,5457$

$G11 := \frac{L_\delta}{m} = 16,2828$

$G12 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$

$G13 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$

$G14 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$

$G15 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$

$G16 := \frac{-9999\ kN}{kN} = -9999$

$R01 := V_1 = 965$

$R02 := V_2 = 3929,2$

$R03 := V_3 = 219,31$

$R04 := V_4 = 219,31$

$R05 := V_5 = 9999$

$R06 := V_6 = 9999$

$R07 := V_7 = 9999$

$R08 := V_8 = 9999$

$R09 := V_9 = 9999$

$R10 := V_{10} = 9999$

$R11 := V_{11} = 9999$

$R12 := V_{12} = 9999$

$R13 := V_{13} = 9999$

$R14 := V_{14} = 9999$

$R15 := V_{15} = 9999$

$R16 := V_{16} = 9999$

$N01 := gab(R01; G01) = 1$

$N02 := gab(R02; G02) = 0$

$N03 := gab(R03; G03) = 1$

$N04 := gab(R04; G04) = 1$

$N05 := gab(R05; G05) = 0$

$N06 := gab(R06; G06) = 0$

$N07 := gab(R07; G07) = 0$

$N08 := gab(R08; G08) = 0$

$N09 := gab(R09; G09) = 0$

$N10 := gab(R10; G10) = 0$

$N11 := gab(R11; G11) = 0$

$N12 := gab(R12; G12) = 0$

$N13 := gab(R13; G13) = 0$

$N14 := gab(R14; G14) = 0$

$N15 := gab(R15; G15) = 0$

$N16 := gab(R16; G16) = 0$

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

$Nota := Acertos \cdot peso = 0,13636$

$$Final := \begin{bmatrix} B_{i\,2} \\ \text{num2str}\left(B_{i\,4}\right) \\ B_{i\,5} \\ Nota \\ R01 \\ G01 \\ N01 \\ R02 \\ G02 \\ N02 \\ R03 \\ G03 \\ N03 \\ R04 \\ G04 \\ N04 \\ R05 \\ G05 \\ N05 \\ R06 \\ G06 \\ N06 \\ R07 \\ G07 \\ N07 \\ R08 \\ G08 \\ N08 \\ R09 \\ G09 \\ N09 \\ G10 \\ R10 \\ G10 \\ N10 \\ R11 \\ G11 \\ N11 \\ R12 \\ G12 \\ N12 \\ R13 \\ G13 \\ N13 \\ R14 \\ G14 \\ N14 \\ R15 \\ G15 \\ N15 \\ R16 \\ G16 \\ Acertos \end{bmatrix}$$

$$\text{exportData}_{\text{XLSX}}\left(\text{Final}^{\text{T}}\,;\,\text{num2str}\left(B_{i\,4}\right)\right) = 1$$