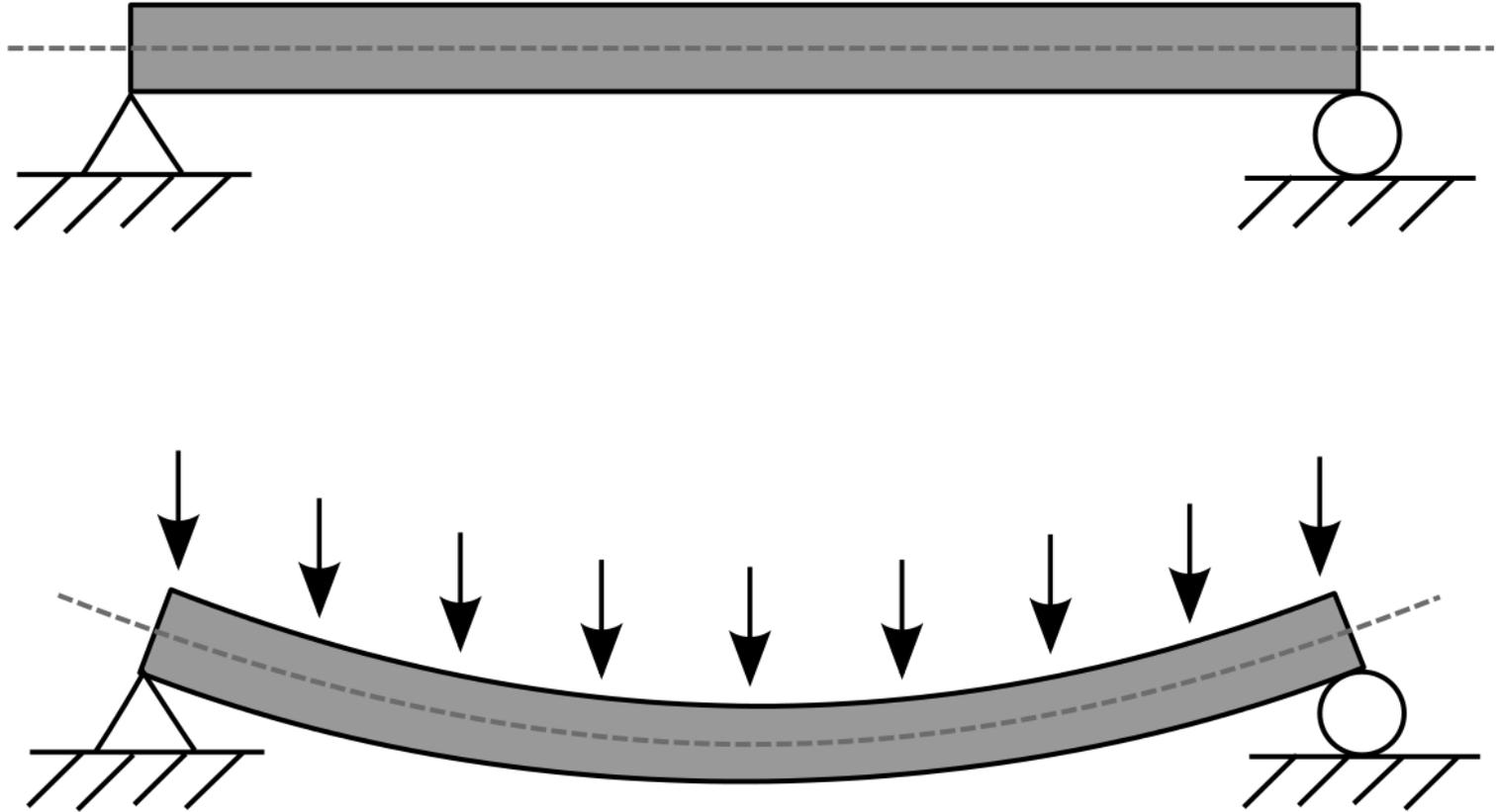
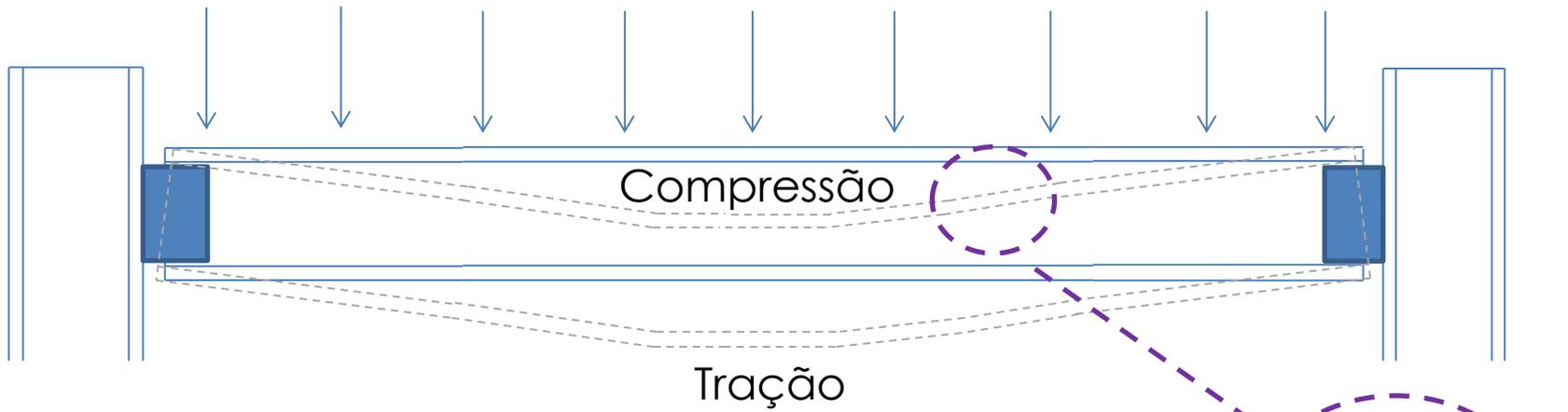


# Barras Flexionadas

*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas - Turma Noite 1º Sem 2017*

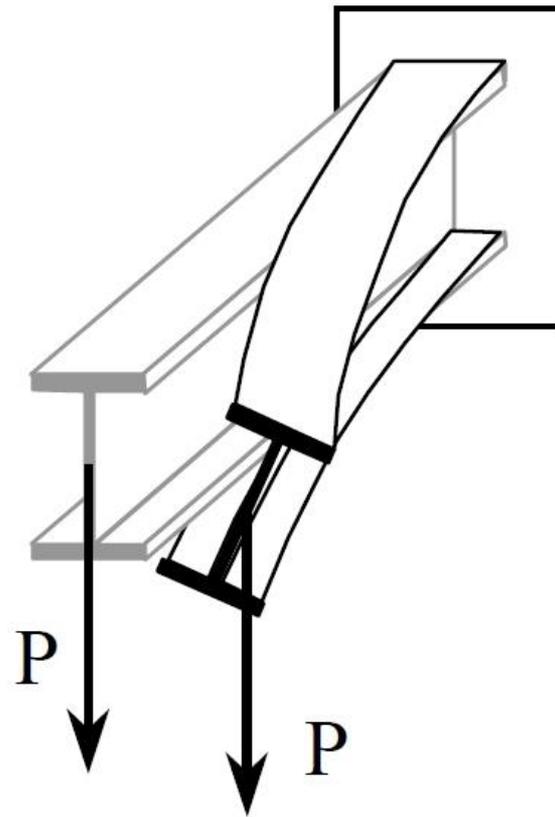
# Barras Flexionadas:





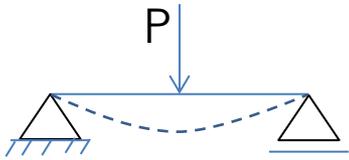
# Barras Flexionadas:

Flambagem lateral com Torção

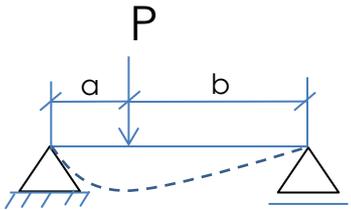


# Barras Flexionadas:

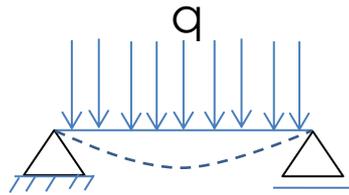
Fórmulas de Flexão e flechas em barras simples



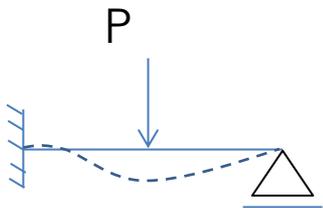
$$M_{max} = \frac{P \cdot L}{4} \quad y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$



$$M_{max} = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} \quad y = \frac{P \cdot a^2 \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot I}$$



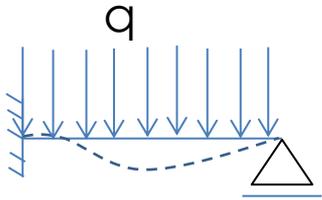
$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} \quad y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$



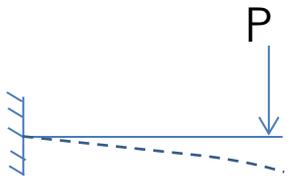
$$M_{max} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{16} \quad y = \frac{7 \cdot P \cdot L^3}{768 \cdot E \cdot I}$$

# Barras Flexionadas:

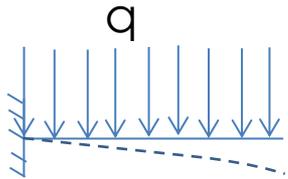
Fórmulas de Flexão e flechas em barras simples



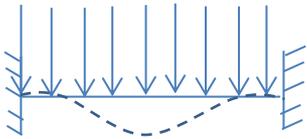
$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} \quad y = \frac{q \cdot L^4}{185 \cdot E \cdot I}$$



$$M_{max} = P \cdot L \quad y = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$



$$M_{max} = \frac{P \cdot L^2}{2} \quad y = \frac{P \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I}$$



$$M_{max} = \frac{P \cdot L^2}{12} \quad y = \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

# Barras Flexionadas:

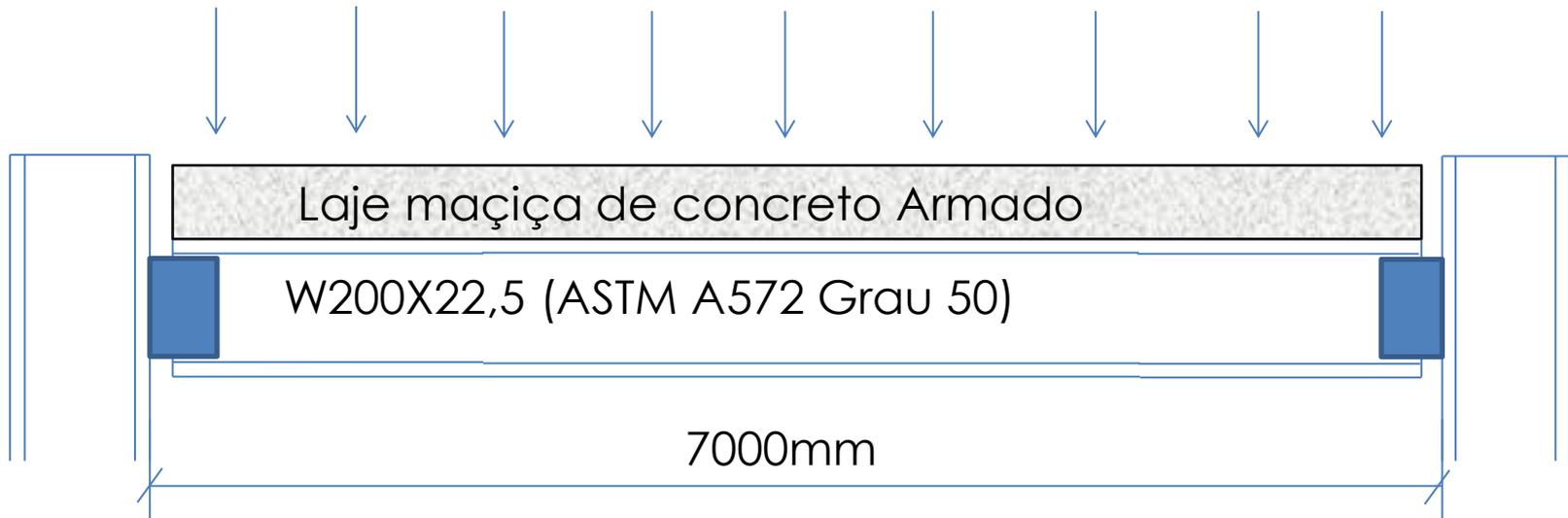
Tabela C.1 — Deslocamentos máximos

Descrição	$\delta^a$
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura <sup>g)</sup>	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura <sup>g)</sup>	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: <sup>j)</sup>	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

# Barras Flexionadas:

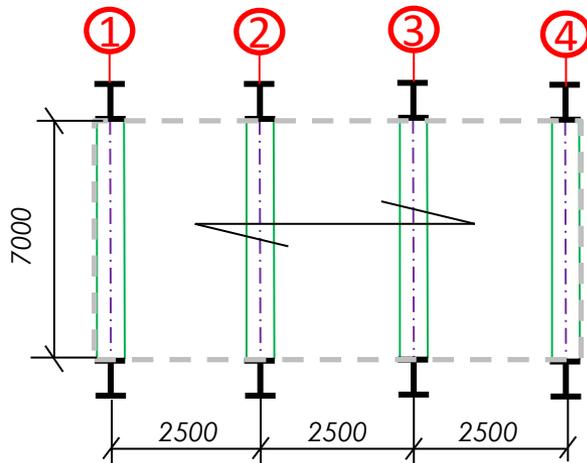
- <sup>a</sup>  $L$  é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço,  $H$  é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base,  $h$  é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar).
- <sup>b</sup> Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam).
- <sup>c</sup> Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento.
- <sup>d</sup> Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico.
- <sup>e</sup> Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.
- <sup>f</sup> Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.
- <sup>g</sup> Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.
- <sup>h</sup> Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.
- <sup>i</sup> Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.
- <sup>j</sup> Considerar combinações raras de serviço.
- <sup>k</sup> No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.
- <sup>l</sup> O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.
- <sup>m</sup> Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.

# Barras Flexionadas:



A viga da imagem acima suporta uma laje de concreto maciça, de espessura 15cm.

Considerando que a edificação será usada para escritórios comerciais, e que existe uma viga idêntica à da figura a cada 2,5m, Verifique se a viga pode ser considerada aprovada quanto ao Estado Limite de Serviço



# Barras Flexionadas:

Resolução:

Passo 01: Determinar Cargas Atuantes

## Permanentes (PP)

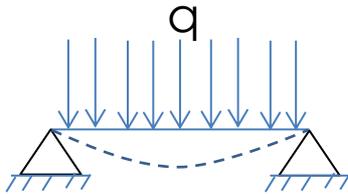
- Peso próprio da laje:  $2500\text{kg/m}^3 \times 0,15\text{m} = 375 \text{ kg/m}^2 = 3,75\text{kN/m}^2$ 
  - Linearizando a Carga:  $3,75 \text{ kN/m}^2 \times 2,5\text{m} = 9,375\text{kN/m}$
- Peso próprio da viga:  $22,5\text{kg/m} = 0,225 \text{ kN/m}$ , já linearizada.
  - TOTAL \_\_\_\_\_ 9,6 kN/m

## Variáveis (SC)

- Sobrecargas em escritórios (NBR6120, item 14 da tabela 2):  $SC = 2\text{kN/m}^2$ 
  - Linearizando a Carga:  $2 \text{ kN/m}^2 \times 2,5\text{m} = 5\text{kN/m}$ 
    - TOTAL \_\_\_\_\_ 5kN/m

# Barras Flexionadas:

DCL:



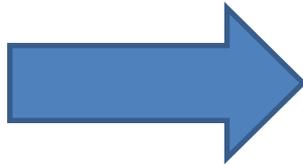
$$y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

ATENÇÃO PARA AS UNIDADES:

- L=cm
- E=kN/cm<sup>2</sup>
- I = cm<sup>4</sup>
- q=kN/cm

Combinações para E.L.S:

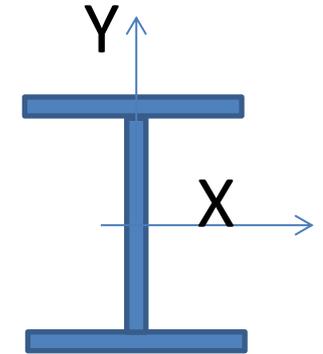
- 1) PP+SC
- ~~2) PP+V~~
- ~~3) PP+SC+V~~



$$PP + SC = 9,6 + 5,0 = 14,6 \text{ kN/m}$$

Convertendo para kN/cm:

$$14,6 / 100 = \mathbf{0,146 \text{ kN/cm}}$$



Cálculo da flecha máxima:

$$y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot Ix}$$

$$y = \frac{5 \cdot 0,146 \cdot 700^4}{384 \cdot 20500 \cdot 2029}$$

$$y = \frac{5 \cdot 0,146 \cdot 700^4}{384 \cdot 20500 \cdot 2029} = 10,97 \text{ cm}$$

Flecha Máxima Admissível: Vigas de Piso =  $L/350 = 700/350 = 2 \text{ cm}$  (**PERFIL NÃO ATENDE**)

# Barras Flexionadas:

À partir da expressão da flecha, podemos encontrar o Momento de Inércia mínimo para a barra, uma vez que a flecha limite sempre é conhecida

$$y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad I = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot y}$$

No caso:  $I_{x,\text{mín}} = \frac{5.0,146.700^4}{384.20500.2} \quad I_{x,\text{mín}} = \frac{5.0,146.700^4}{384.20500.2} = 11132 \text{cm}^4$

O perfil mais leve que atende à inércia mínima na Tabela de Bitolas da Gerdau é o W410X38,8, com 12777 cm<sup>4</sup>

# Barras Flexionadas:

Supondo que haja uma limitação na dimensão do perfil no exemplo anterior: A altura máxima do perfil não pode ultrapassar 260mm por questões arquitetônicas.

Solução Possível #01: Selecionar um perfil com  $h < 260$  e inércia adequada

O perfil mais leve que se encontra com essas condições é o W250X73(H). Representa um aumento de 88% no peso de aço da estrutura.

Solução Possível #02: Diminuir o vão livre adicionando um pilar no centro.

No caso: flecha máx =  $L/350 = 350/350 = 1\text{cm}$

No caso: 
$$I_{x,\text{mín}} = \frac{5.0,146.350^4}{384.20500.1} = 1392\text{cm}^4$$

Nessas condições o W250X17,9 Atenderia. Com a penalidade de adicionar um pilar, e fabricar novas bases de concreto.

# Barras Flexionadas:

Solução Possível #03: Diminuir a distância entre pilares:

Nesse caso selecionaremos o perfil desejado, que tenha maior inércia e menor peso dentro da altura desejada, e calcularemos a distância entre vigas.

PERFIL DESEJADO: W250X17,9.  $I_x = 2291\text{cm}^4$

$$2291 = \frac{5 \cdot q \cdot 700^4}{384 \cdot 20500 \cdot 2} \quad q = \frac{2 \cdot 2291 \cdot 20500 \cdot 384}{5 \cdot 700^4} = \frac{0,03\text{kN}}{\text{cm}} = 3\text{kN/m}$$

Sabemos que a carga distribuída superficialmente sobre a viga, excluindo-se o peso próprio dela mesma é:

PP Laje = 3,75 kN/m<sup>2</sup>  
SC Escri.=2,00 kN/m<sup>2</sup>

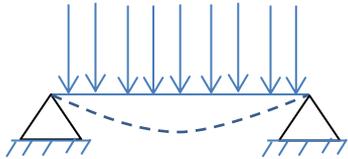
$$\text{Portanto: } Qa \cdot D + PP\text{viga} = q \quad d = \frac{0,277}{5,75} \quad d = 0,483\text{m}$$
$$5,75 \cdot d + 0,225 = 3$$

-----  
TOTAL = 5,75 kN/m<sup>2</sup>

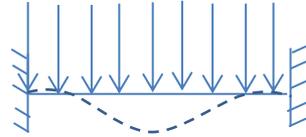
Para que o perfil W250X17,9 seja aprovado em ELS para o vão de 7m, deve haver uma barra a cada 483mm. Normalmente esse resultado inviabilizaria a solução.

# Barras Flexionadas:

Solução Possível #04: Engastar os extremos:



$$y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$



$$y = \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

A flecha em uma barra bi articulada é 5 vezes maior do que em uma barra bi engastada.

Logo a inércia necessária para uma viga bi-engastada é 5x menor (0,20) que a necessária para uma viga bi-articulada

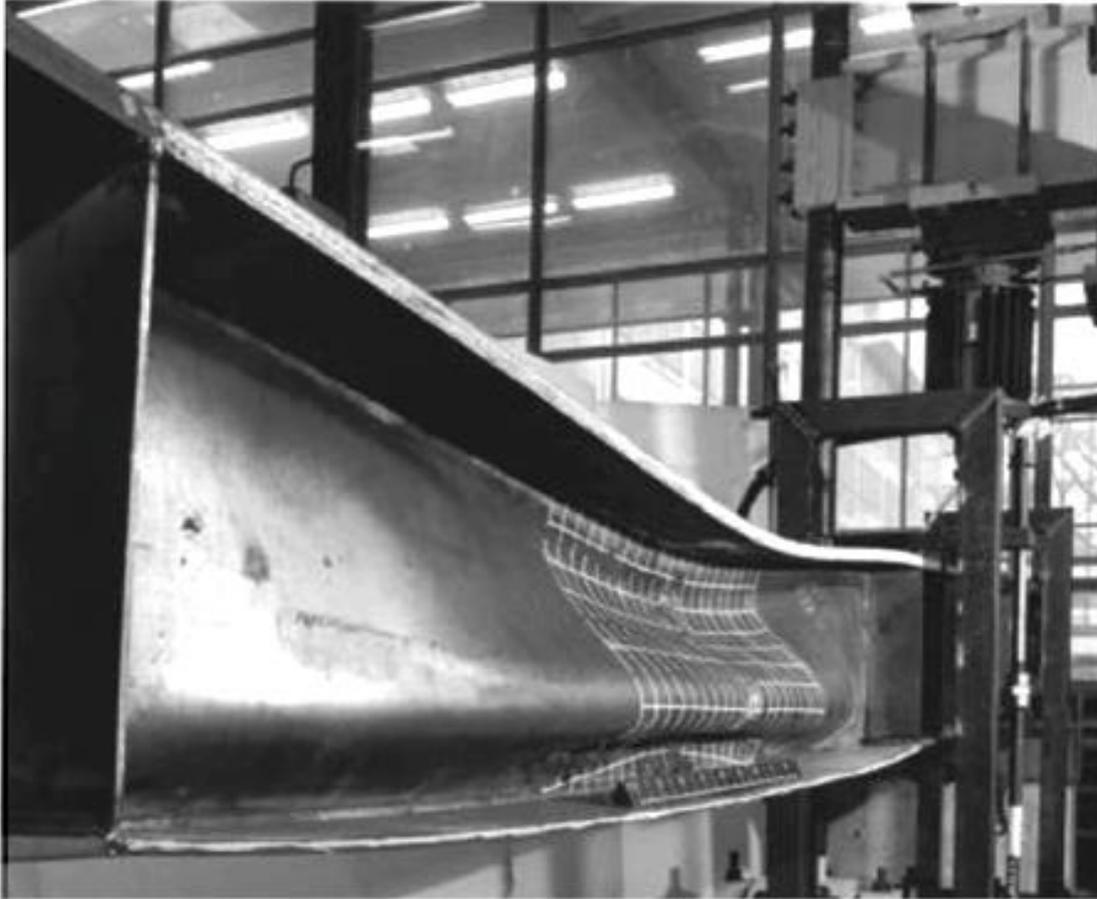
No caso: 
$$I_{x,\text{mín}} = \frac{0,146 \cdot 700^4}{384 \cdot 20500 \cdot 2} = 2226 \text{ cm}^4$$

Nessa condição a W250X17,9 passaria (PARA ELS) no vão de 7m.

Consequência disso é a transferência de momentos fletores para os pilares, provavelmente surgindo a necessidade de torná-los mais robustos e a necessidade da elaboração de ligações mais complexas para garantir grau de engastamento e a flecha calculada..

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

## Flambagem Local da Alma (FLA)



**Figure 2. Vertical web buckling.**

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

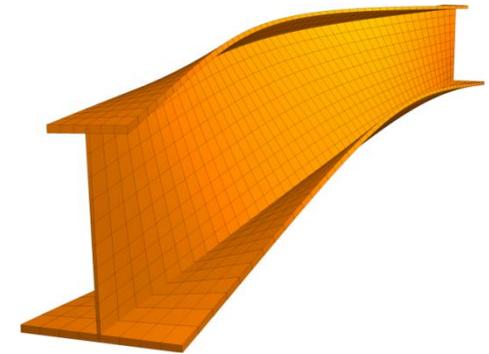
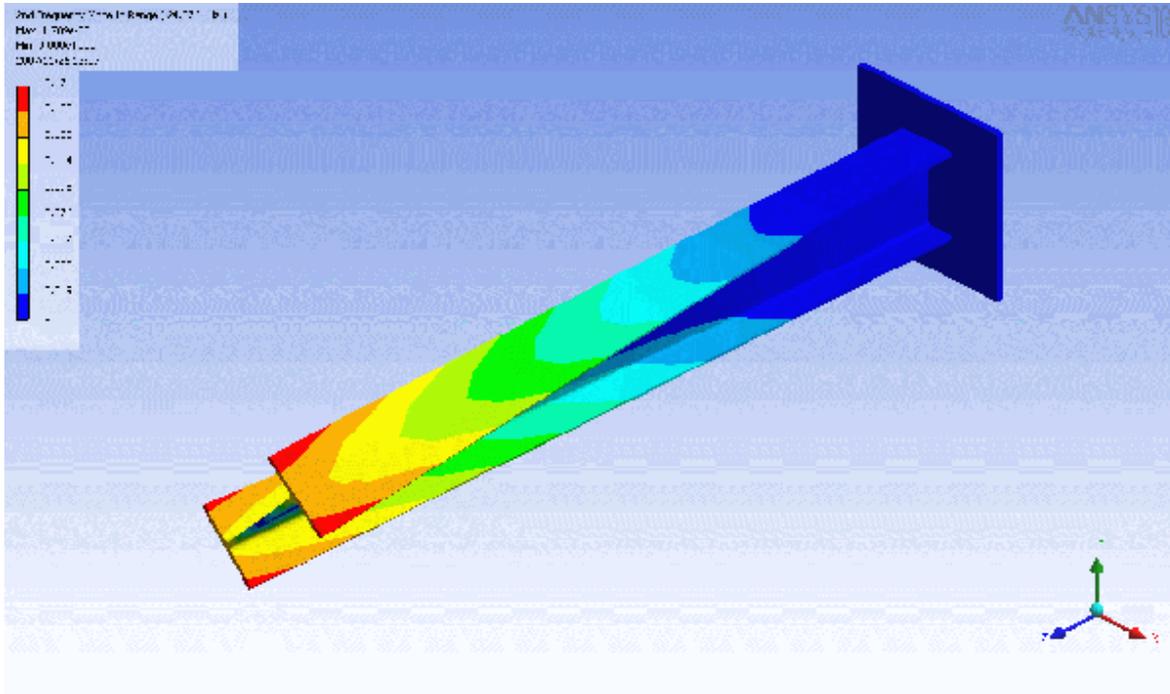
Flambagem Local da Mesa (FLM)



*Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas - Turma Noite 1º Sem 2017*

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

## Flambagem Lateral com torção (FLT)



# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

Tabela G.1 — Parâmetros referentes ao momento fletor resistente

Tipo de seção e eixo de flexão	Estados-limites aplicáveis	$M_r$	$M_{cr}$	$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_r$
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	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
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b/t}{\text{Ver Nota 8}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com apenas um eixo de simetria situado no plano médio da alma, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia (ver Nota 9)	FLT	$(f_y - \sigma_r)W_c$ $\leq f_y W_t$ Ver Nota 5	Ver Nota 2	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 2
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W_c$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b/t}{\text{Ver Nota 8}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_c}{t_w}$	$\frac{h_c \sqrt{E}}{h_y \sqrt{f_y}}$ $\left( \frac{0,54 M_{pe}}{M_t} - 0,09 \right)^2 \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia	FLM Ver Nota 3	$(f_y - \sigma_r)W$	Ver Nota 6	$\frac{b/t}{\text{Ver Nota 8}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA Ver Nota 3	$f_y W_{ef}$ Ver Nota 4	$\frac{W_{ef}^2}{W} f_y$ Ver Nota 4	$\frac{h}{t_w}$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções sólidas retangulares fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$f_y W$	$\frac{2,00 C_s E}{\lambda} \sqrt{JA}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pe}} \sqrt{JA}$	$\frac{2,00 E}{M_s} \sqrt{JA}$
Seções-caixão e tubulares retangulares, duplamente simétricas, fletidas em relação a um dos eixos de simetria que seja paralelo a dois lados	FLT Ver Nota 7	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	$\frac{2,00 C_s E}{\lambda} \sqrt{JA}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pe}} \sqrt{JA}$	$\frac{2,00 E}{M_s} \sqrt{JA}$
	FLM	$f_y W_{ef}$ Ver Nota 4	$\frac{W_{ef}^2}{W} f_y$ Ver Nota 4	$\frac{b/t}{\text{Ver Nota 8}}$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	FLA	$f_y W$	-	$\frac{h}{t_w}$	Ver Nota 10	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Para cada estado Limite:

**Passo 1:** Calcular  $\lambda$

**Passo 2:** Comparar  $\lambda$  com  $\lambda_p$  e  $\lambda_r$

Para FLT:

- a)  $M_{Rd} = \frac{M_{pe}}{\gamma_{a1}}$ , para  $\lambda \leq \lambda_p$   $M_{pl} = Z \cdot F_y$
- b)  $M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[ M_{pe} - (M_{pe} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pe}}{\gamma_{a1}}$ , para  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$
- c)  $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pe}}{\gamma_{a1}}$ , para  $\lambda > \lambda_r$

Para FLM e FLA:

- a)  $M_{Rd} = \frac{M_{pe}}{\gamma_{a1}}$ , para  $\lambda \leq \lambda_p$
- b)  $M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{pe} - (M_{pe} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right]$ , para  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$
- c)  $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ , para  $\lambda > \lambda_r$  (não aplicável à FLA - ver Anexo H)

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

O Momento Fletor Resistente de cálculo é o menor dos resultados:

- Mrd do FLM
- Mrd do FLA
- Mrd do FLT

O valor de Mrd não pode ser superior a  $1,5.W.F_y/1,1$

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

As Notas relacionadas à Tabela G.1 são as seguintes:

$$1) \lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{r_{yc} J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w}\right)}$$

onde:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_c}{E J}$$

$$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4}, \text{ para seções I}$$

$$C_w = \frac{t_f (b_f - 0,5 t_w)^3 (d - t_f)^2}{12} \left[ \frac{3(b_f - 0,5 t_w) t_f + 2(d - t_f) t_w}{6(b_f - 0,5 t_w) t_f + (d - t_f) t_w} \right], \text{ para seções U}$$

$$2) \lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{r_{yc} J \beta_1} \sqrt{\beta_2 + \sqrt{\beta_2^2 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \left[ \beta_3 + \sqrt{\beta_3^2 + \frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w}\right)} \right]$$

onde:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_c}{E J}$$

$$\beta_2 = 5,2 \beta_1 \beta_3 + 1$$

$$\beta_3 = 0,45 \left( d - \frac{t_{fs} + t_{fb}}{2} \right) \left( \frac{\alpha_y - 1}{\alpha_y + 1} \right), \text{ com } \alpha_y \text{ conforme Nota 9 a seguir}$$

$$C_w = \frac{\left( d - \frac{t_{fs} + t_{fb}}{2} \right)^2}{12} \left( \frac{t_{fb} b_{fb}^3 t_{fs} b_{fs}^3}{t_{fb} b_{fb}^3 + t_{fs} b_{fs}^3} \right)$$

**NA PRÁTICA SEMPRE BUSCAREMOS SEÇÕES COMPACTAS OU, NO MÁXIMO SEMI-COMPACTAS, SE NÃO TIVER OUTRO JEITO.**

**SEÇÕES ESBELTAS EM ÚLTIMO CASO. PARA O CASO DE ALMA ESBELTA, ADOTAR O ANEXO H DA NBR8800/08**

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

- 3) O estado-limite FLA aplica-se só à alma da seção U, quando comprimida pelo momento fletor. Para seção U, o estado-limite FLM aplica-se somente quando a extremidade livre das mesas for comprimida pelo momento fletor.
- 4)  $W_{ef}$  é o módulo de resistência mínimo elástico, relativo ao eixo de flexão, para uma seção que tem uma mesa comprimida (ou alma comprimida no caso de perfil U fletido em relação ao eixo de menor inércia) de largura igual a  $b_{ef}$ , dada por F.3.2, com  $\sigma$  igual a  $f_y$ . Em alma comprimida de seção U fletida em relação ao eixo de menor momento de inércia,  $b = h$ ,  $t = t_w$  e  $b_{ef} = h_{ef}$ .
- 5) A tensão residual de compressão nas mesas,  $\sigma_r$ , deve ser tomada igual a 30% da resistência ao escoamento do aço utilizado.

6) Para perfis laminados:  $M_{cr} = \frac{0,69 E}{\lambda^2} W_c$ ,  $\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$

Para perfis soldados:  $M_{cr} = \frac{0,90 E k_c}{\lambda^2} W_c$ ,  $\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r) / k_c}}$

com  $k_c$  conforme F.2.

- 7) O estado-limite FLT só é aplicável quando o eixo de flexão for o de maior momento de inércia.
- 8)  $b/t$  é a relação entre largura e espessura aplicável à mesa do perfil; no caso de seções I e H com um eixo de simetria,  $b/t$  refere-se à mesa comprimida (para mesas de seções I e H,  $b$  é a metade da largura total, para mesas de seções U, a largura total, para seções tubulares retangulares, a largura da parte plana e para perfis caixão, a distância livre entre almas).

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

9) Para essas seções, devem ser obedecidas as seguintes limitações:

$$a) \frac{1}{9} \leq \alpha_y \leq 9$$

com

$$\alpha_y = \frac{I_{yc}}{I_{yt}}$$

b) a soma das áreas da menor mesa e da alma deve ser superior à área da maior mesa.

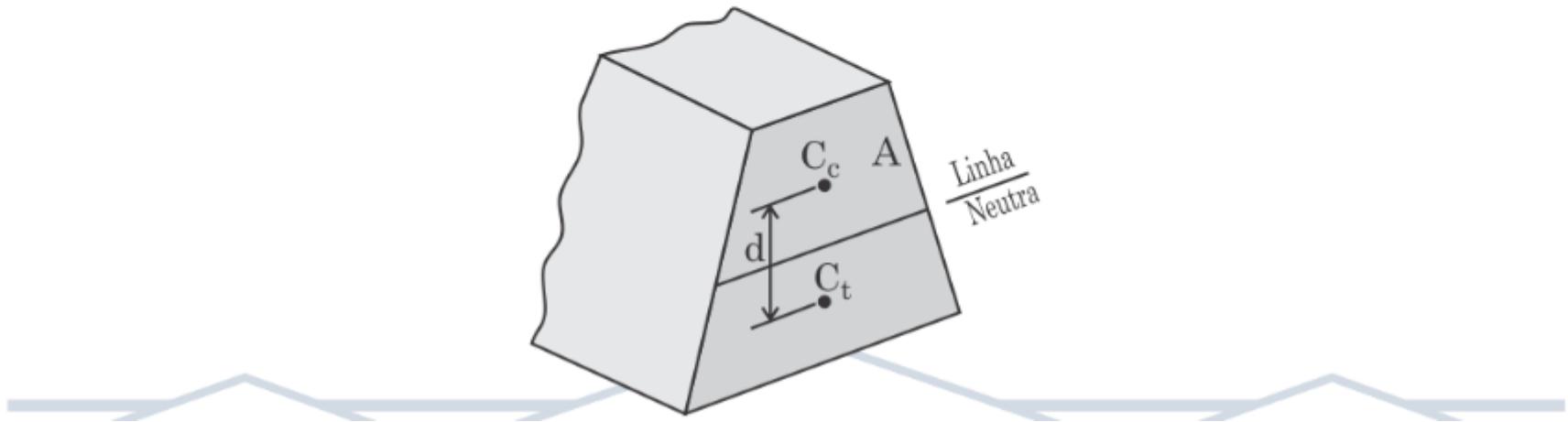
10) Para seções-caixão:  $\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Para seções tubulares retangulares:  $\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

# ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS:

$$Z = \frac{1}{2}Ad$$

Onde  $A$  é a área da seção transversal e  $d$  é a distância entre o centro geométrico da região comprimida e o centro geométrico da região tracionada. A Figura 4.11 ilustra essa ideia para um momento positivo.



# Exemplo:

No caso do exemplo anterior tínhamos:

Perfil W250X17,9 (ASTM A572 Grau 50) no vão de 7 metros.

Determinação das cargas para verificação de ELU.

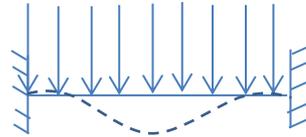
Combinações para E.L.U:

1) 1,4PP + 1,5 SC

~~2) PP+1,4V~~

~~3) 1,4PP+1,5SC+0,84V~~

$$q = 1,4 \cdot 9,6 + 1,5 \cdot 5,0 = 20,94 \text{ kN/m}$$



$$M_{sd} = \frac{q \cdot L^2}{12}$$

$$M_{sd} = \frac{0,2094 \cdot 700^2}{12}$$

$$M_{sd} = 8550,05 \text{ kN.cm}$$

# Exemplo:

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>t</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ	
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			MESA - λ <sub>w</sub> b / 2t <sub>w</sub>	ALMA - λ <sub>w</sub> d' / t <sub>w</sub>
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27

Verificação da Esbeltez da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{101}{2 \cdot 5,3} = 9,53 \quad \text{Comparar com} \quad \lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 9,26$$

# Exemplo:

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>x</sub> cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ	
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			MESA-λ <sub>w</sub> b/2t <sub>w</sub>	ALMA-λ <sub>w</sub> d'/t <sub>w</sub>
				W 150 x 13,0	13,0				148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635			85,8	6,18
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27

Verificação da Esbeltez da Mesa: Como a mesa não é compacta, comparar com

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{101}{2 \cdot 5,3} = 9,53 \quad \text{Comparar com} \quad \lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(F_y - \sigma)}} = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{20500}{(34,5 - 0,3 \cdot 34,5)}} = 24,18$$

A SEÇÃO É SEMI – COMPACTA PARA O ESTADO LIMITE FLM

# Exemplo:

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>x</sub> cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ	
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			MESA - λ <sub>m</sub> b <sub>f</sub> /2t <sub>w</sub>	ALMA - λ <sub>w</sub> d'/t <sub>w</sub>
				W 150 x 13,0	13,0				148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635			85,8	6,18
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27

Verificação da Esbeltez da Alma

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = \frac{220}{4,8} = 45,9 \quad \text{Comparar com} \quad \lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 91,65$$

SEÇÃO COMPACTA QUANTO À ALMA

# Exemplo:

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>t</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ	
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			MESA - λ <sub>w</sub> b / 2t <sub>w</sub>	ALMA - λ <sub>w</sub> d' / t <sub>w</sub>
				W 150 x 13,0	13,0				148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635			85,8	6,18
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27

## Verificação da Flambagem Lateral com Torção

No caso de uma viga completamente contida por uma laje (com as devidas fixações), não é necessário verificar FLT. ( $L_b=0$ )

# Exemplo:

Verificações a serem feitas:

FLM – Seção Semi compacta.

$$M_{Rd,Mesa} = \frac{M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)}{1,1}$$

Lembrando que  $M_{pl} = Z_x \cdot F_y$

$$M_{pl} = 211.34,5 = 7279,5 \text{ kN.cm}$$

$$M_r = (F_y - \sigma_r) \cdot W_x$$

$$M_r = (34,5 - 0,3 \cdot 34,5) \cdot 182,6$$

$$M_r = 4409,79 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd,Mesa} = \frac{7279,5 - (7279,5 - 4409,79) \cdot \left(\frac{9,53 - 9,26}{24,18 - 9,26}\right)}{1,1} = 6570,5 \text{ kN.cm}$$

$$M_{sd} = 8550,05 \text{ kN.cm}$$

Já sabemos que a peça não será aprovada. Poderíamos parar o dimensionamento aqui e selecionar outra peça, pois não atende a um Estado Limite Último

# Exemplo:

Verificações a serem feitas:

$$M_{Rd,Alma} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{Zx \cdot Fy}{1,1}$$

FLA – Seção Compacta.

$$M_{Rd,Alma} = \frac{211.34,5}{1,1} = 6617,72 \text{ kN.cm}$$

PEÇA REPROVADA QUANTO AO ESTADO LIMITE ÚLTIMO, Para os Estados Limites FLM e FLA.

# Exemplo:

Vamos descobrir qual peça atende:

Supondo que obrigatoriamente selecionaremos uma peça com alma e mesa compactos, já de posse do Momento Fletor atuante ( $M_{sd}$ ) encontraremos o  $Z_x$  necessário para vencer a flexão:

$$M_{Rd,Alma} = \frac{Z_x \cdot F_y}{1,1}$$

A partir de agora temos três restrições:

$$Z_{x,mín} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{F_y}$$

1:  $I_x > 2226 \text{ cm}^4$

2:  $Z_x > 272,61 \text{ cm}^3$

3:  $h < 260 \text{ mm}$

$$Z_{x,mín} = \frac{1,1 \cdot 8550,05}{34,5} = 272,61 \text{ cm}^3$$

# Exemplo:

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>i</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	ESBELTEZ	
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			MESA - λ <sub>w</sub> b <sub>f</sub> /2t <sub>w</sub>	ALMA - λ <sub>w</sub> d'/t <sub>w</sub>
				W 150 x 13,0	13,0				148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635			85,8	6,18
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27

<9,26

<92

# Exemplo:

Recalculando:

ELS: Flecha atuante  $y = \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{0,146 \cdot 700^4}{384 \cdot 20500 \cdot 3473} = 1,28 \text{ cm} < 2 \text{ cm OK!!!!}$

E.L.U:  
FLM -  $M_{Rd,Mesa} = \frac{Z_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{311,1 \cdot 34,5}{1,1} = 9757,22 \text{ kN} \cdot \text{cm} > 8550,05 \text{ OK!!!!}$

E.L.U:  
FLA -  $M_{Rd,Alma} = \frac{Z_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{311,1 \cdot 34,5}{1,1} = 9757,22 \text{ kN} \cdot \text{cm} > 8550,05 \text{ OK!!!!}$

E.L.U  
Mrd Max:  $M_{Rd,Máx} = \frac{1,5 \cdot W_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{1,5 \cdot 270,2 \cdot 34,5}{1,1} = 12711 \text{ kN} \cdot \text{cm} > 8550,05 \text{ OK!!!!}$

# Exemplo:

## Verificações E.L.U do perfil W250X25,3

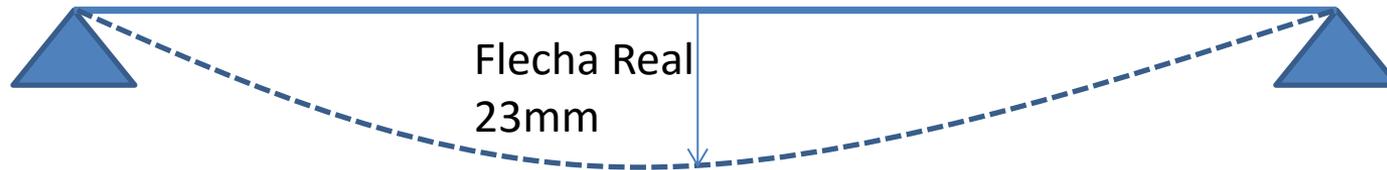
**E.L.U:**  
**FLM -**  $M_{Rd,Mesa} = \frac{Zx \cdot Fy}{1,1} = \frac{311,1 \cdot 34,5}{1,1} = 9757,22 \text{ kN.cm} > 8550,05 \text{ OK!!!!}$

**E.L.U:**  
**FLA -**  $M_{Rd,Alma} = \frac{Zx \cdot Fy}{1,1} = \frac{311,1 \cdot 34,5}{1,1} = 9757,22 \text{ kN.cm} > 8550,05 \text{ OK!!!!}$

**E.L.U**  
**Mrd Max:**  $M_{Rd,Máx} = \frac{1,5 \cdot Wx \cdot Fy}{1,1} = \frac{1,5 \cdot 270,2 \cdot 34,5}{1,1} = 12711 \text{ kN.cm} > 8550,05 \text{ OK!!!!}$

# CONTRA-FLECHAS EM VIGAS:

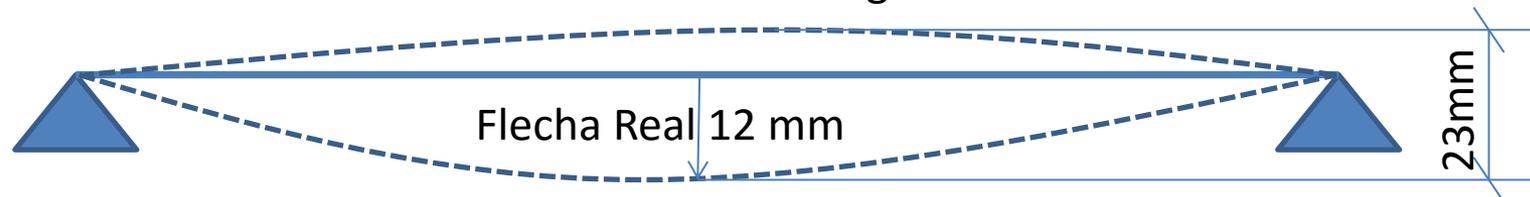
6000mm, Flecha máx =  $L/350 = 17,14\text{mm}$



Caso a viga esteja passando na resistência à flexão, mas a limitação seja a flecha limite (E.L.S)

Em alguns casos pode-se usar o artifício de aplicar contraflecha na peça, equivalente à flecha resultante das cargas permanentes. Dessa forma gera-se economia em peso.

Contraflecha 11mm referente às Cargas Permanentes



# CONTRA-FLECHAS EM VIGAS:

Contraflechas geram economia real nas seguintes situações:

- Grandes vãos
- Altas cargas permanentes (Lajes, equipamentos, etc.)
- Necessidade de reduzir a altura do perfil em função da arquitetura.

Em casos de baixas cargas permanentes, a economia é muito pequena, pois não há flecha suficiente para gerar uma contraflecha razoável e economizar na inércia.