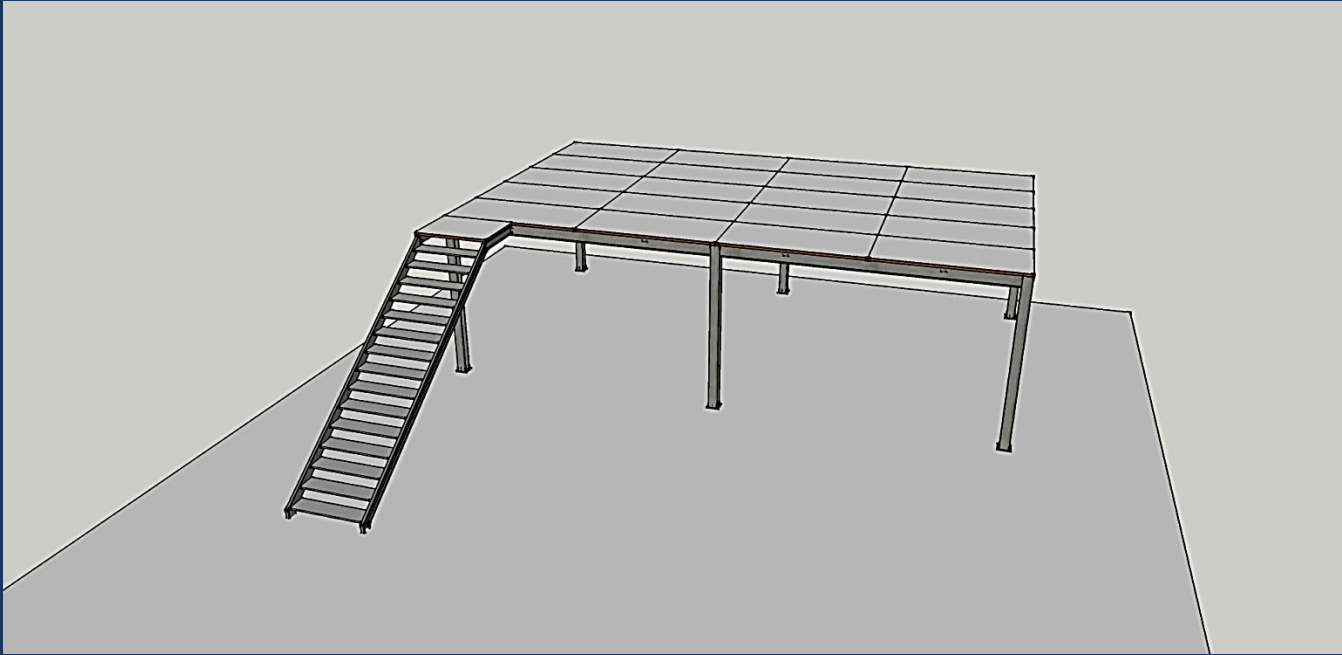


# PROJETO CÁLCULO DE ESTRUTURAS METÁLICAS



## AULA DEMONSTRATIVA

Cálculo de um mezanino em Painel Wall

# Plano passo a passo:

## 1- OBTENHA DEFINIÇÕES E PREMISSAS DE PROJETO

- a) Entenda as necessidades do cliente
- b) Elabore um desenho arquitetônico ilustrativo para aprovação junto ao cliente

## 2- DESENHE OS DIAGRAMAS DE CORPO LIVRE DA ESTRUTURA

- a) Defina os tipos de vinculação (Engastamento, Rotulação, apoios simples, etc)
- b) Defina os deslocamentos máximos (flechas atuantes) máximas para cada barra
- c) Defina os esforços atuantes sobre as superfícies
- d) Defina os esforços atuantes sobre cada barra ( Cargas axiais, cisalhamento, Momento Fletor e torção)
- e) Defina as reações nas bases.

# Plano passo a passo:

## 3- DIMENSIONE CADA BARRA CONFORME OS ESFORÇOS SOLICITANTES

- a) Verifique cada barra conforme o esforço atuante
- b) Verifique se os deslocamentos máximos estão dentro dos limites

## 4 – ELABORE A LISTA DE MATERIAIS E O DESENHO DE DETALHAMENTO

# PASSO 1

## Entenda as necessidades do cliente

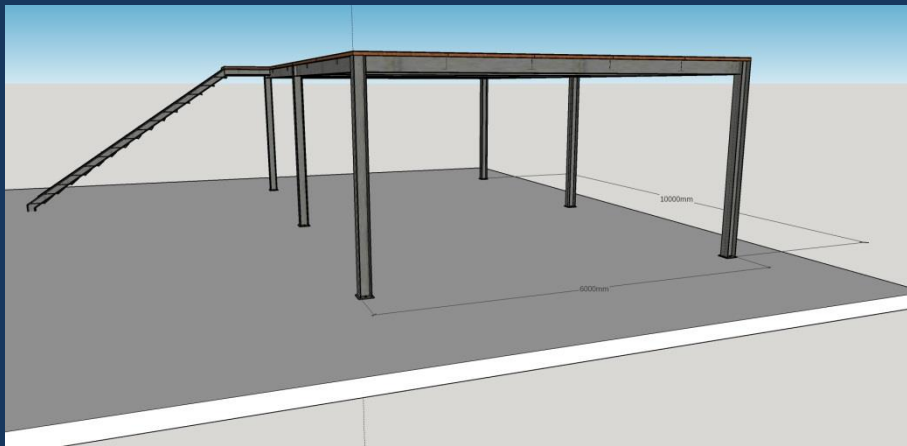
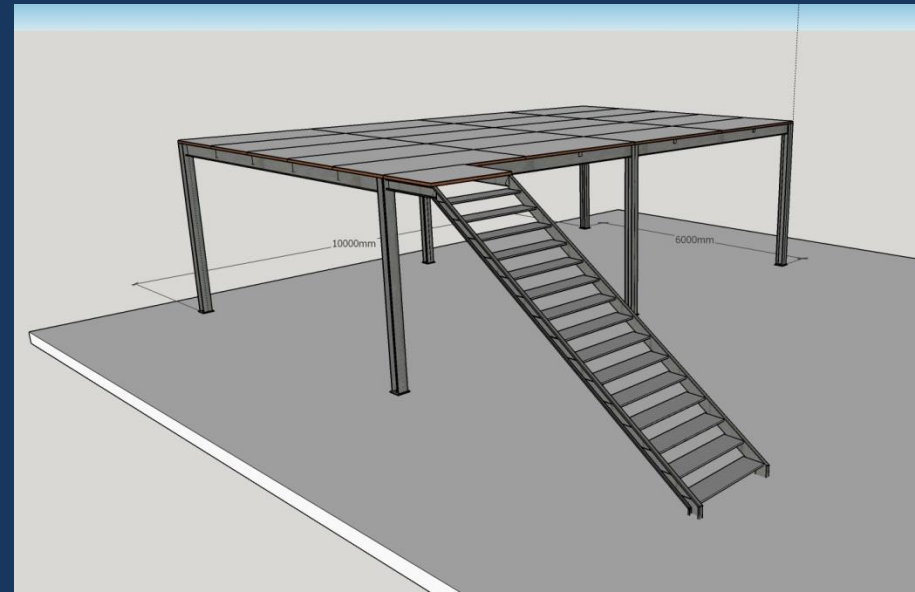
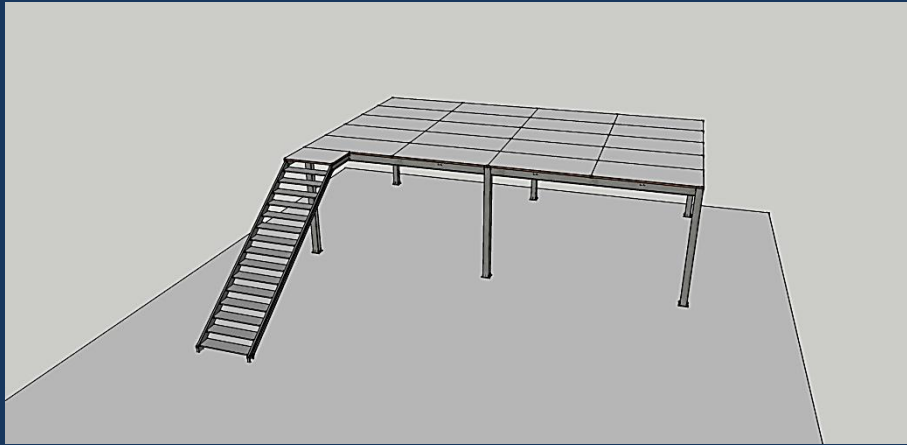
- Quais as dimensões da construção?
- Qual será a utilização da construção?
- Onde fica a obra?
- Em quanto tempo a obra precisa estar pronta?

### Respostas do Cliente:

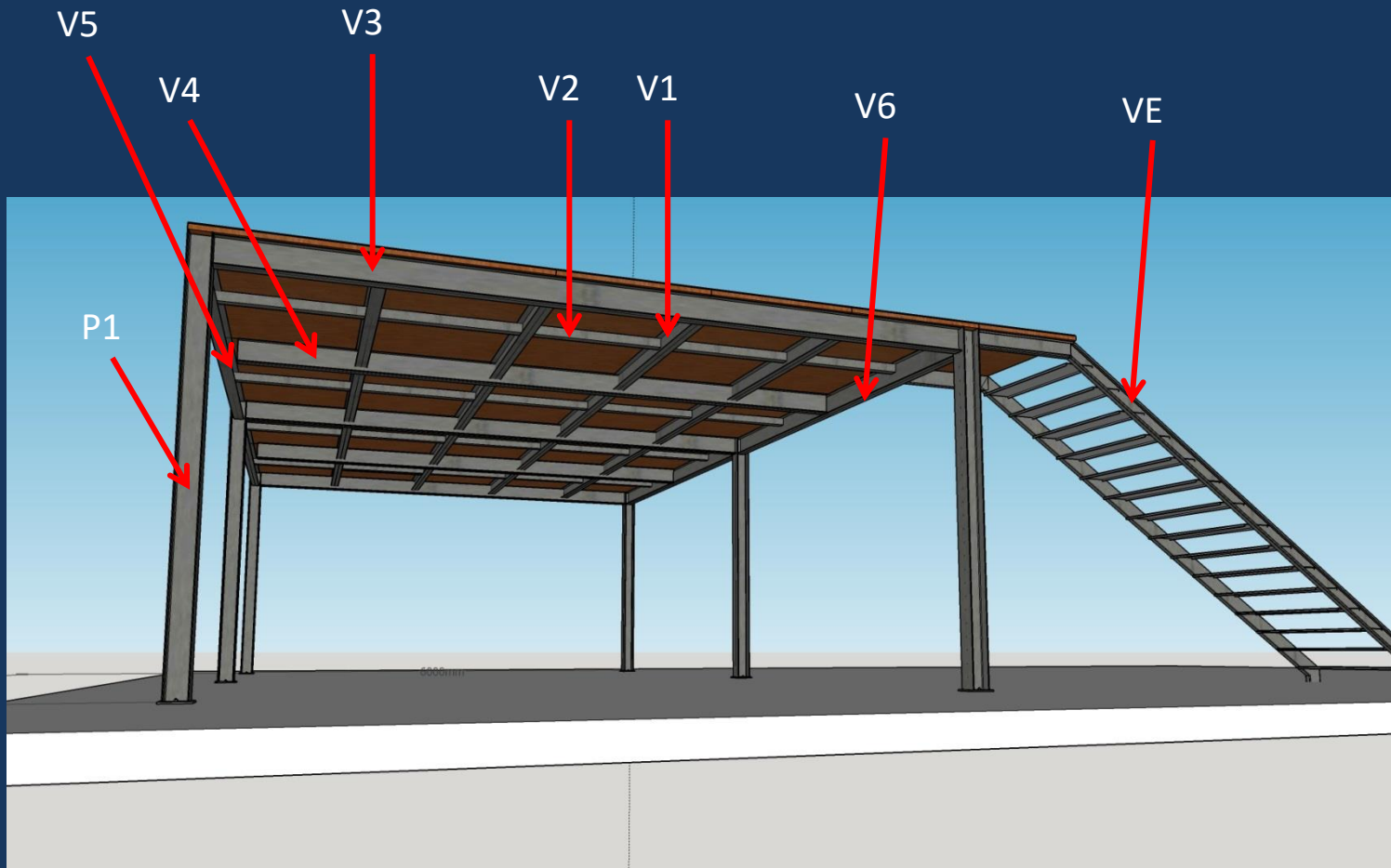
Preciso de um mezanino de 6m x 10m, para servir de escritório em minha oficina mecânica. O pé direito livre deve ser de no mínimo 2,70m e o vão de 6m não pode ter pilares intermediários. Não tenho tanta pressa, mas a obra deve ficar pronta em menos de 30 dias.

# PASSO 1:

Elabore um desenho arquitetônico para ilustrar

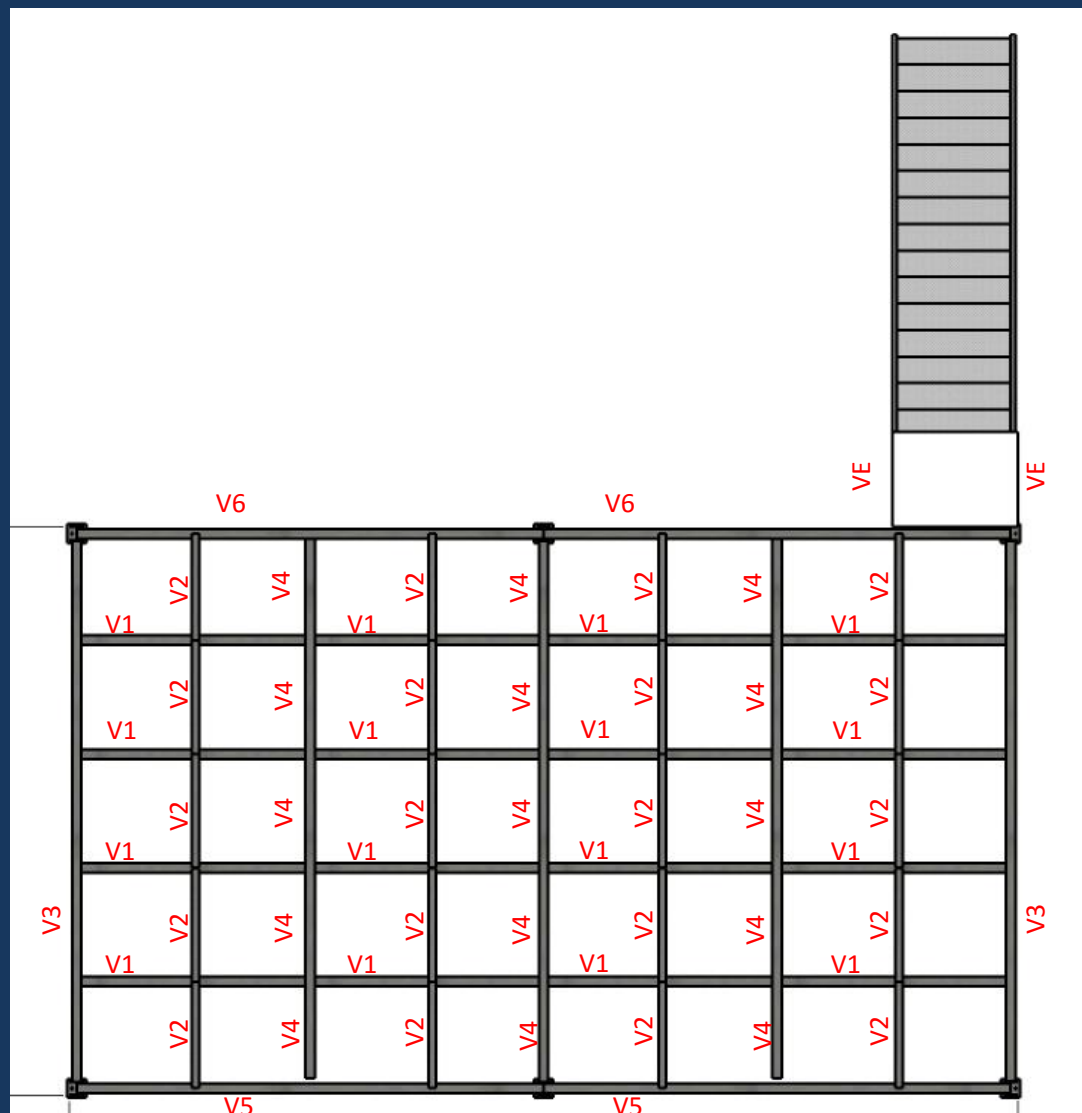


# PASSO 2: Desenhe os diagramas de corpo livre



# PASSO 2:

## Desenhe os diagramas de corpo livre



V1 = W150X13 (R 7,2kN)

V2 = W150X13, (R 3,8kN)

V3 = W250X17,9 (R 14,4kN)

V4 = W250X17,9 (R 28,8kN)

V5 = W250X17,9

V6 = W250X17,9

Pilares P1 : W150X22,5

Peso:

W150X13 = 64m x 13 = 832 Kg

W250X17,9 = 50m x 17,9 = 895 kg

Pilares W150X22,5 = 6x2,70x22,5 = 364 kg

TOTAL = 2091,5 kg

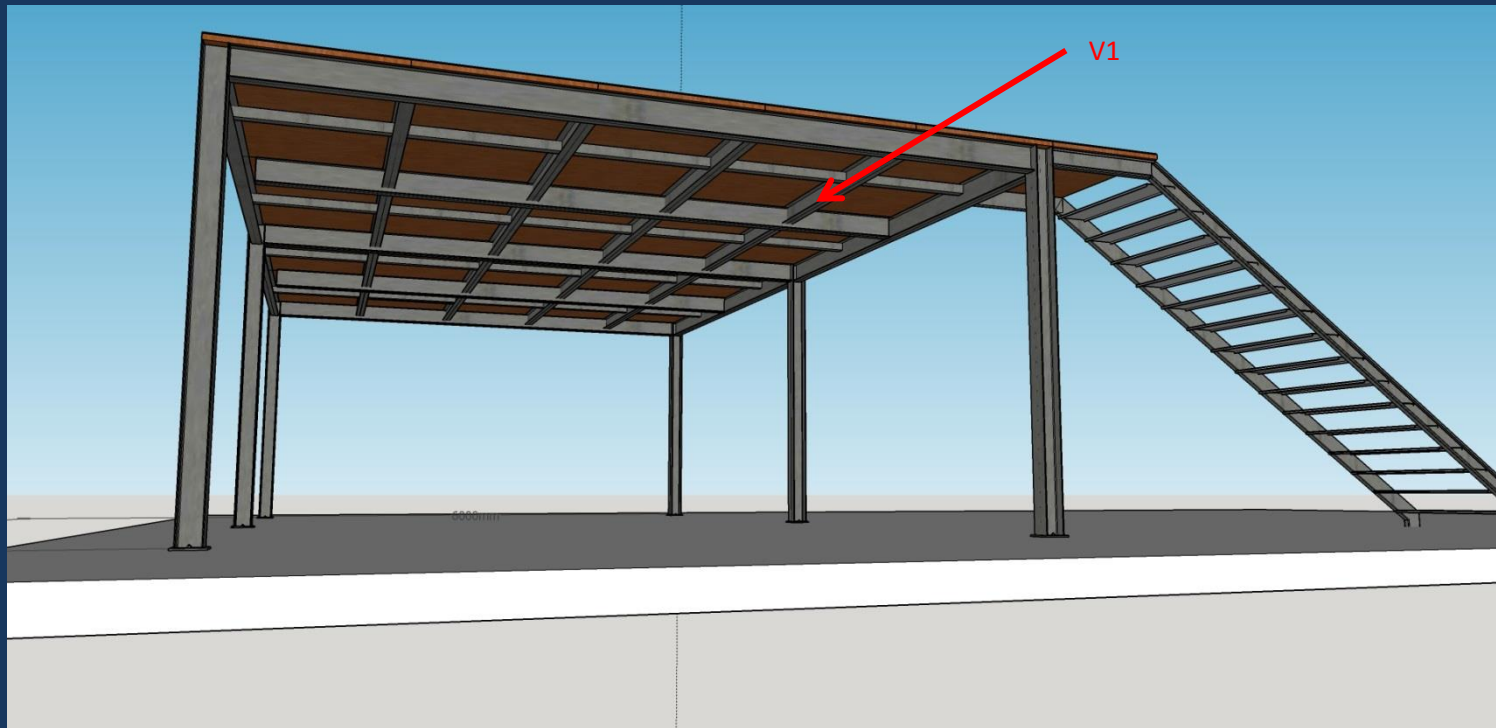
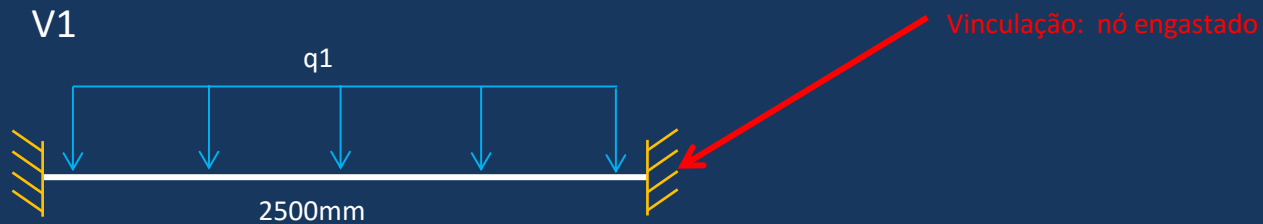
Área = 10 x 6 = 60m<sup>2</sup>

Taxa de aço: 2091 / 60 = 34,85kg/m<sup>2</sup>

30 kg/m<sup>2</sup>

VE R =5,31kN

# PASSO 2: Desenhe os diagramas de corpo livre





# PASSO 2:

Defina o deslocamento máximo admissível (ANEXO D NBR8800/08)

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

Deslocamento Vertical Máximo Admissível:  $2500/350 = 7,14\text{mm}$  (0,714cm)

<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 empacotamento, 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.

/ANEXO D

# PASSO 2:

## Defina as cargas atuantes sobre a superfície (NBR6120)

		Unid.: kN/m <sup>2</sup>
Local		Carga
1 Arquibancadas		4
2 Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5	-
3 Bancos	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência	2 1,5
4 Bibliotecas	Sala de leitura	2,5
	Sala para depósito de livros	4
	Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m <sup>2</sup> por metro de altura observado, porém o valor mínimo de	6
5 Casas de máquinas	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
6 Cinemas	Platéia com assentos fixos	3
	Estúdio e platéia com assentos móveis	4
	Banheiro	2
7 Clubes	Sala de refeições e de assembléia com assentos fixos	3
	Sala de assembléia com assentos móveis	4
	Salão de danças e salão de esportes	5
	Sala de bilhar e banheiro	2
8 Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
9 Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
10 Depósitos	A ser determinada em cada caso e na falta de valores experimentais conforme o indicado em 2.2.1.3	-
11 Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2
12 Escadas	Com acesso ao público (ver 2.2.1.7)	3
	Sem acesso ao público	2,5
13 Escolas	Anfiteatro com assentos fixos	3
	Corredor e sala de aula	2
	Outras salas	2
14 Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
15 Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
16 Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
17 Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
18 Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo. Valores de $\phi$ indicados em 2.2.1.6	3
19 Ginásios de esportes		5

/continua

Cargas Variáveis: Decorrentes do uso da estrutura (No caso, Pessoas utilizando escritório).

Escada =  $3\text{kN/m}^2$  ( $300\text{kg/m}^2$ )

Mezanino =  $2\text{kN/m}^2$  ( $200\text{kg/m}^2$ )

# PASSO 2:

## Defina as cargas atuantes sobre a superfície (NBR6120)

	Materials	Peso específico aparente (kN/m³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
Zinco	72	
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
Vidro plano	26	

Cargas Permanentes: Decorrentes dos materiais que fazem parte da construção (No caso Estrutura metálica, painel Wall, piso e contrapiso)

Peso da Estrutura: 0,30 kN/m<sup>2</sup> (estimado)

Peso Painel Wall: 0,32 kN/m<sup>2</sup> (Catálogo Eternit)

Peso Contrapiso 3cm: 0,57kN/m<sup>2</sup> (19kN/m<sup>3</sup> X 0,03 m)

Peso piso cerâmico: 0,16kN/m<sup>2</sup> (Porcelanato INCEPA)

-----  
TOTAL = 1,35 kN/m<sup>2</sup> (135kg/m<sup>2</sup>)

# PASSO 2:

## Defina as cargas atuantes nas barras (NBR8800/08)

**Tabela 1 — Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_f = \gamma_{fl} \gamma_{fs}$**

Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_p$ ) <sup>a,c</sup>					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>a,d</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>b</sup>	Ação do vento	Ações truncadas <sup>e</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

<sup>a</sup> Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

<sup>b</sup> O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

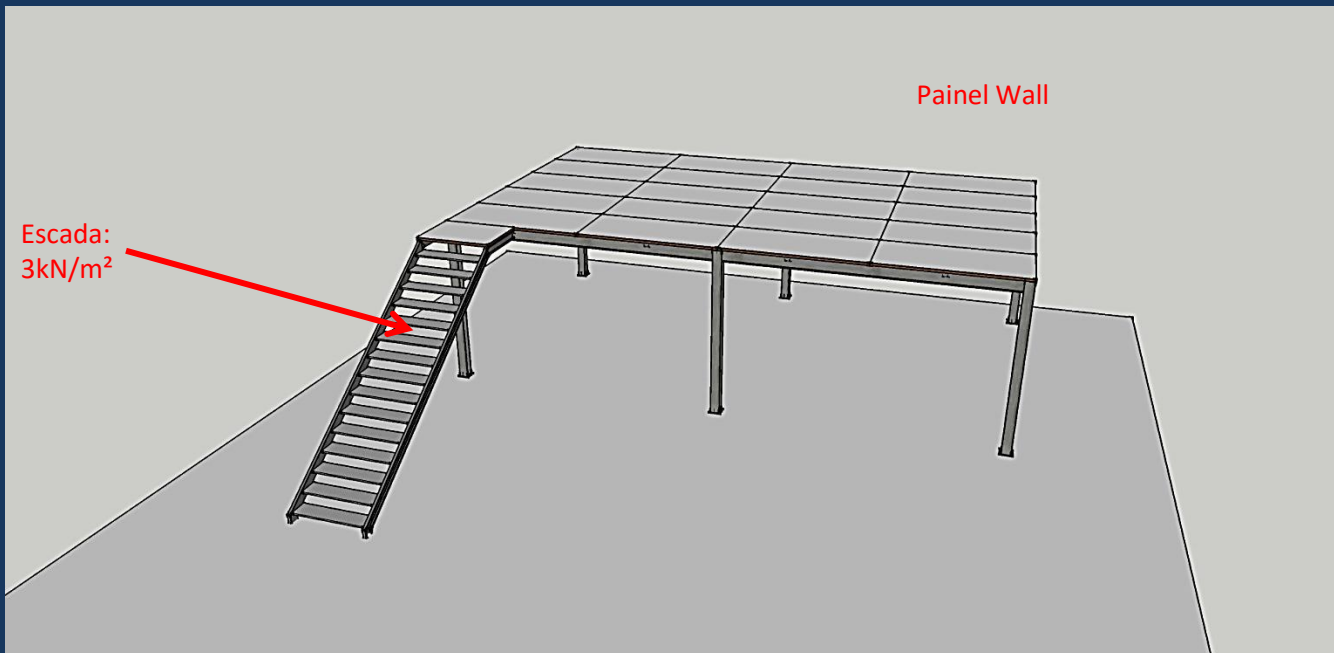
<sup>c</sup> Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m<sup>2</sup>, ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

<sup>d</sup> Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m<sup>2</sup>, ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

<sup>e</sup> Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

# PASSO 2:

Defina as cargas atuantes sobre a superfície



# PASSO 2: Cargas em V1



Distância entre Vigas: 1200mm

Combinação de Ações:  $1,25 \times 0,30 + 1,4 \times (0,32 + 0,16) + 1,35 \times 0,57 + 1,5 \times 2,00$

Peso Estrutura metálica

Cerâmica + Painel Wall

Contrapiso

Sobrecarga de escritórios

Distância entre Vigas: 1200mm (como a carga é espacial, devemos descobrir a carga q1 linear, para isso multiplicamos o valor da carga pela distância entre vigas)

$$q1 = 4,82 \text{ kNm}^2 \times 1,2 \text{ m}$$
$$q1 = 5,78 \text{ kN/m}$$

# PASSO 2: Cargas em V1

V1

$q_1 = 5,78 \text{ kN/m}$  ou  $0,0578 \text{ kN/cm}$



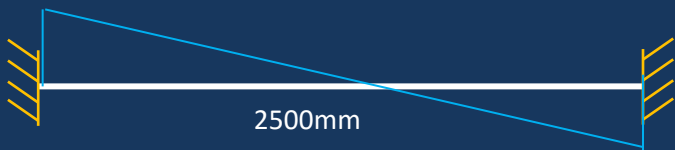
Momento Fletor Solicitante de Cálculo (Msd)



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

$$Msd = (0,0578 \times 250^2)/12 = 301,04 \text{ kN.cm}$$

Força Cortante Solicitante de Cálculo (Vsd)

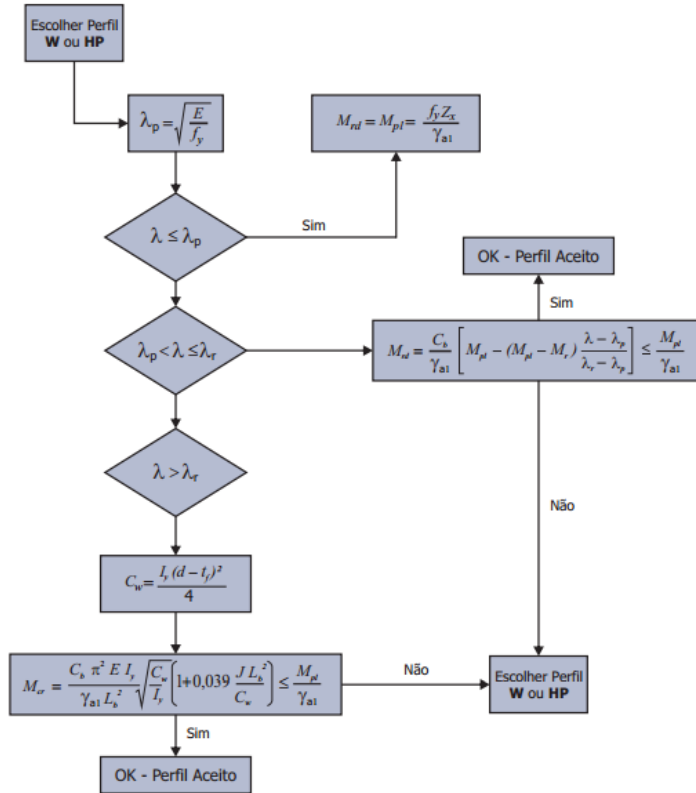


$$Vsd = q \cdot \frac{L}{2}$$

$$Vsd = (0,0578 \times 250)/2 = 7,22 \text{ kN}$$

# Fluxograma de Dimensionamento à flexão

## 2.7 - Fluxograma Dimensionamento a Flexão



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

Tabela G.1 — Parâmetros referentes ao momento fletor resistente

Tipo de seção e eixo de flexão	Estados-limite 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	$b/t$ 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	$b/t$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_c}{t_w}$	$\frac{h_c}{b_p} \sqrt{\frac{E}{f_y}} \leq \lambda_r$ $\left( 0,54 \frac{M_{pl}}{M_r} - 0,09 \right)^2 \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
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	$b/t$ 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	$f_y W$	$\frac{2,00 C_k E}{\lambda} \sqrt{J A}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pl}} \sqrt{J A}$	$\frac{2,00 E}{M_r} \sqrt{J A}$
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	$\frac{2,00 C_k E}{\lambda} \sqrt{J A}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pl}} \sqrt{J A}$	$\frac{2,00 E}{M_r} \sqrt{J A}$
	FLM	$f_y W_{ef}$ Ver Nota 4	$\frac{W_{ef}^2}{W} f_y$ Ver Nota 4	$b/t$ 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	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$



# Fluxograma de Dimensionamento à flexão

## G.2 Momento fletor resistente de cálculo

G.2.1 Para os tipos de seção e eixos de flexão indicados na Tabela G.1, para o estado-limite FLT, o momento fletor resistente de cálculo é dado por:

$$a) \quad M_{Rd} = \frac{M_{pe}}{\gamma_{af}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{af}} \left[ M_{pe} - (M_{pe} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pe}}{\gamma_{af}}, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$c) \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{af}} \leq \frac{M_{pe}}{\gamma_{af}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

Os valores do momento fletor resistente de cálculo para este estado-limite são válidos para aplicação das forças transversais externas, caso existam, na semi-altura da seção transversal.

G.2.2 Para os tipos de seção e eixos de flexão indicados na Tabela G.1, para os estados-limites FLM e FLA, o momento fletor resistente de cálculo é dado por:

$$a) \quad M_{Rd} = \frac{M_{pe}}{\gamma_{af}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{af}} \left[ M_{pe} - (M_{pe} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right], \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$c) \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{af}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r \text{ (não aplicável à FLA - ver Anexo H)}$$

**5.4.2.2** Para assegurar a validade da análise elástica, o momento fletor resistente de cálculo não pode ser tomado maior que  $1,50W f_y / \gamma_{af}$ , sendo  $W$  o módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal da barra em relação ao eixo de flexão.

# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

Cálculo do Mrd para o estado limite FLM:

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{100}{2 \cdot 4,9} = 10,2$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 9,26$$

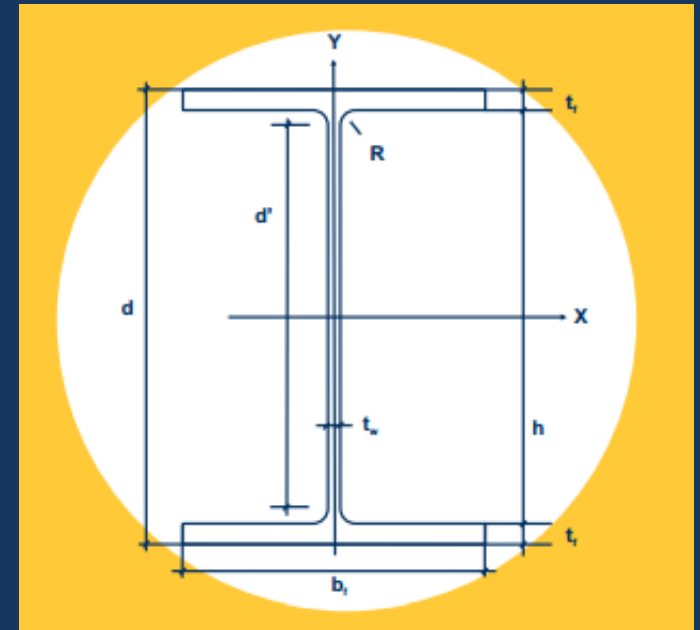
$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y - \sigma_r}} = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5 - 0,3 \cdot 34,5}} = 24,18$$

Como:  $\lambda_p > \lambda > \lambda_r$ , o Mrd para este estado limite é:

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right], \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{1,1} \left[ 3325,8 - (3325,8 - 2072) \frac{10,2 - 9,26}{24,18 - 9,26} \right]$$

✓  $M_{Rd} = 2951 \text{ kN.cm}$  (PARA FLM APENAS)



Sendo:

$$M_{pl} = Z_x \cdot F_y = 96,4 \cdot 34,5 = 3325,8 \text{ kN.cm}$$

$$M_r = (F_y - \sigma_r) \cdot W_x = (34,5 - 0,3 \cdot 34,5) \cdot 85,8 \quad M_r = 2072 \text{ kN.cm}$$

# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

Cálculo do Mrd para o estado limite FLA:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{138,2}{4,3} = 32,13$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 91,65$$

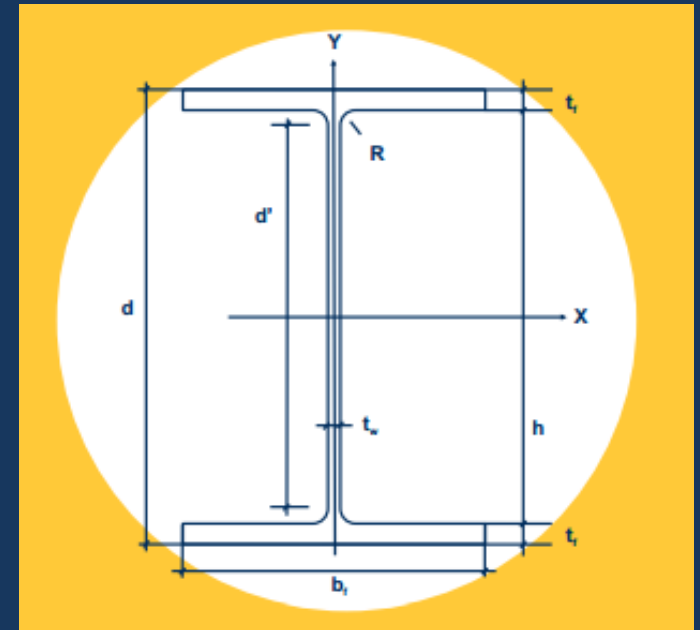
$$\lambda_r = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 138,9$$

Como:  $\lambda < \lambda_p$  e conseqüentemente  $\lambda < \lambda_r$ ; o Mrd para este estado limite é:

$$a) \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{al}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{3325,8}{1,1} = 3023 \text{ kN.cm}$$

✓ Mrd = 3023 kN.cm (PARA FLA APENAS)



Sendo:

$$M_{pl} = Z_x \cdot F_y = 96,4 \cdot 34,5 = 3325,8 \text{ kN.cm}$$

# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

Condição Imposta pela Norma:

**5.4.2.2** Para assegurar a validade da análise elástica, o momento fletor resistente de cálculo não pode ser tomado maior que  $1,50W f_y / \gamma_{a1}$ , sendo  $W$  o módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal da barra em relação ao eixo de flexão.

$$M_{rd\ max} = \frac{1,5 \cdot W_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{1,5 \cdot 85,8 \cdot 34,5}{1,1} = 4036\ kN.cm$$

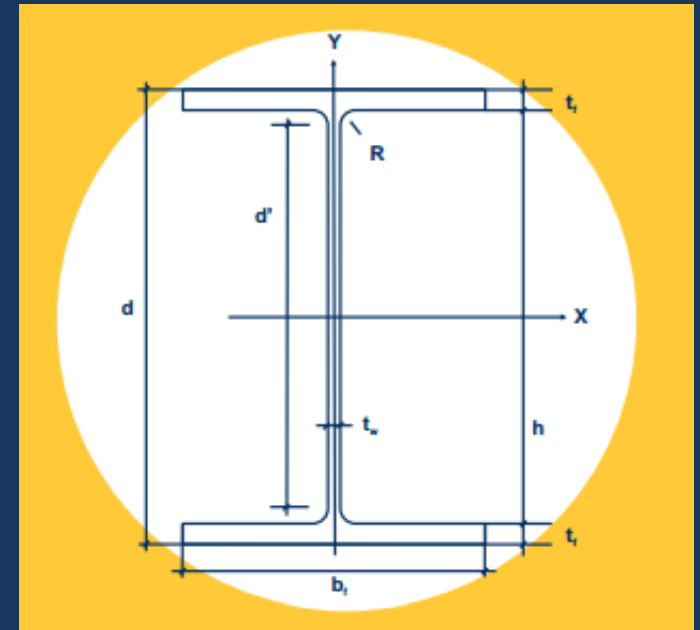
✓  $M_{rd\ max} = 4043\ kN.cm$

Selecionaremos o menor dos valores obtidos:

FLM:  $M_{rd} = 2951\ kN.cm$  ← Atende, Pois  $M_{sd} = 301,04\ kN.cm$

FLA:  $M_{rd} = 3023\ kN.cm$

$M_{rd\ max} = 4043\ kN.cm$



Observação:

Seria necessário dimensionar ao Estado Limite FLT, mas para efeitos desse cálculo, Consideramos a mesa comprimida como Contida lateralmente.

# Dimensionamento ao Esforço cortante

## Alma

### 5.4.3.1 Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma

5.4.3.1.1 Em seções I, H e U fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma (eixo de maior momento inércia), a força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , é dada por:

$$\text{— para } \lambda \leq \lambda_p: V_{Rd} = \frac{V_{pe}}{\gamma_{a1}}$$

$$\text{— para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r: V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pe}}{\gamma_{a1}}$$

$$\text{— para } \lambda > \lambda_r: V_{Rd} = 1,24 \left( \frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pe}}{\gamma_{a1}}$$

onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$$

$$k_v = \begin{cases} 5,0 & \text{para almas sem enrijecedores transversais, para } \frac{a}{h} > 3 \text{ ou para } \frac{a}{h} > \left[ \frac{260}{(h/t_w)} \right]^2 \\ 5 + \frac{5}{(a/h)^2}, & \text{para todos os outros casos} \end{cases}$$

$V_{pe}$  é a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento, dada em 5.4.3.1.2;

$a$  é a distância entre as linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes (ver 5.4.3.1.3);

$h$  é a altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas nos perfis soldados e igual a esse valor menos os dois raios de concordância entre mesa e alma nos perfis laminados;

$t_w$  é a espessura da alma.

5.4.3.1.2 A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

$$V_{pe} = 0,60 A_w f_y$$

Nessa equação,  $A_w$  é a área efetiva de cisalhamento, que deve ser tomada igual a:

$$A_w = d t_w$$

onde:

$d$  é a altura total da seção transversal;

$t_w$  é a espessura da alma.

Cálculo do  $V_{rd}$ :

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{138,2}{4,3} = 32,13$$

$$\lambda_p = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{F_y}} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 20500}{34,5}} = 59,95$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{F_y}} = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 20500}{34,5}} = 74,67$$

Como:  $\lambda < \lambda_p$ :

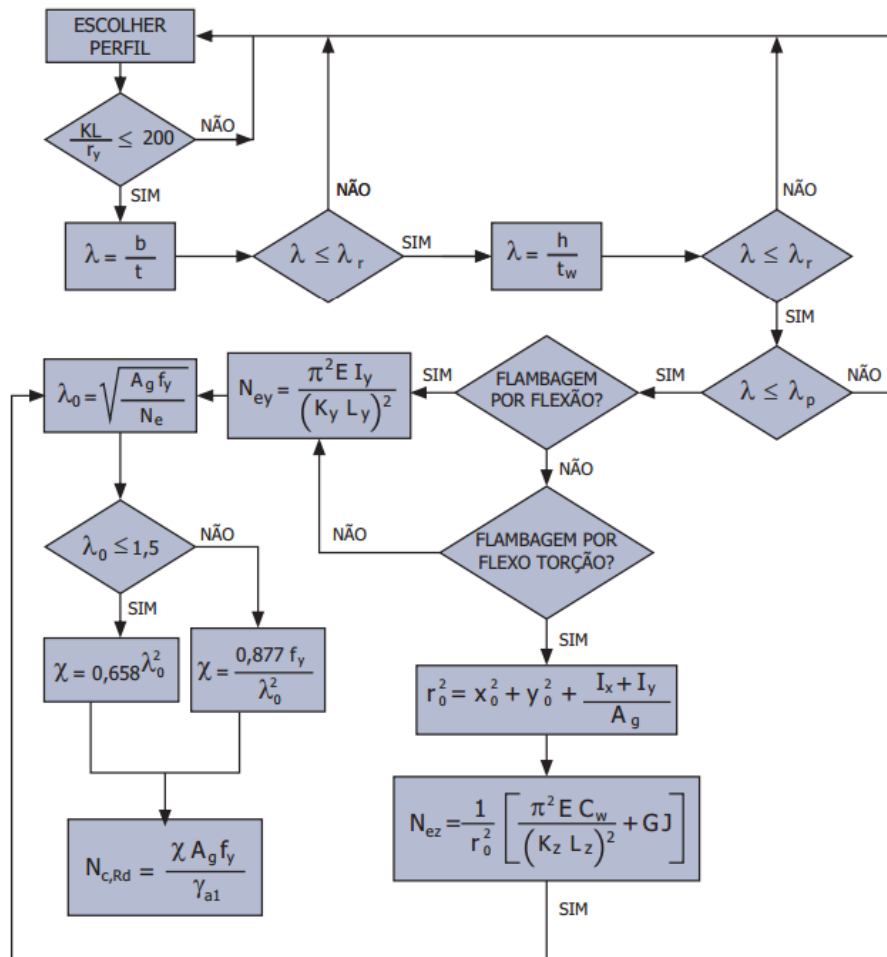
$$V_{rd} = 0,60 \cdot A_w \cdot F_y = 0,6 \cdot 6,364 \cdot 34,5 = 131,73 \text{ kN}$$

$$\text{Com } A_w = 14,8 \cdot 0,43 = 6,364 \text{ cm}^2$$

# Dimensionamento à compressão

## RESISTÊNCIA À FLAMBAGEM POR COMPRESSÃO DE BARRAS SEM COMPONENTES ESBELTOS

Quando as relações  $b/t$  e  $h/t_w$  de todos elementos comprimidos da seção forem inferiores a  $\lambda_r$  e  $\lambda_p$  seção é compacta e nesse caso  $Q = 1,0$



# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

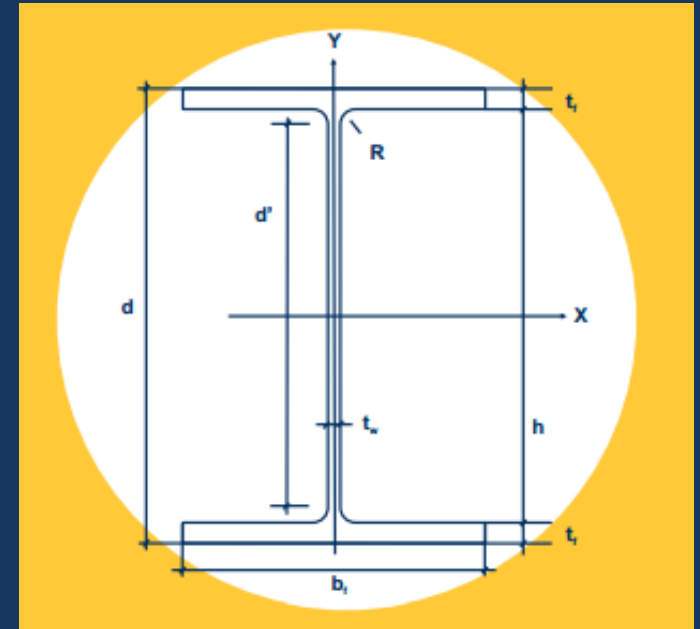
Tabela E.1 — Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K <sub>x</sub> ou K <sub>y</sub>	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio						
	Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

Definir Limite de Esbeltez:

$$\lambda_x = \frac{k \cdot l_x}{r_x} = \frac{0,5 \cdot 250}{6,18} = 20,22 < 200 \text{ OK}$$

$$\lambda_y = \frac{k \cdot l_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 125}{2,22} = 56,30 < 200 \text{ OK}$$



Limites:

$\lambda < 200$  para compressão

$\lambda < 300$  para tração

# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

$$N_c R_d = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot F_y}{\gamma_1}$$

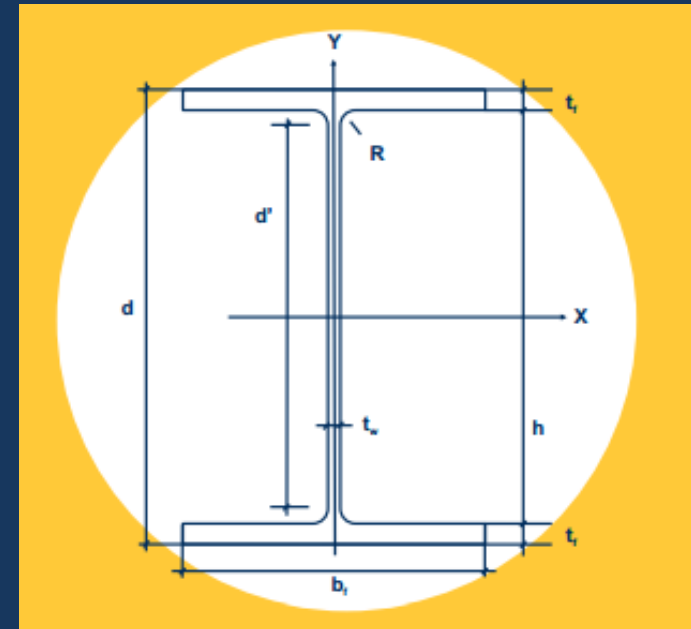
Sendo:

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad \text{quando } \lambda_0 \leq 1,5$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad \text{quando } \lambda_0 > 1,5$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_c}}$$

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$



### E.1.1 Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto

A força axial de flambagem elástica,  $N_c$ , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto é dada por:

- a) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

$$N_{cx} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

- b) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal:

$$N_{cy} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$



# Exemplo: Perfil W150X13

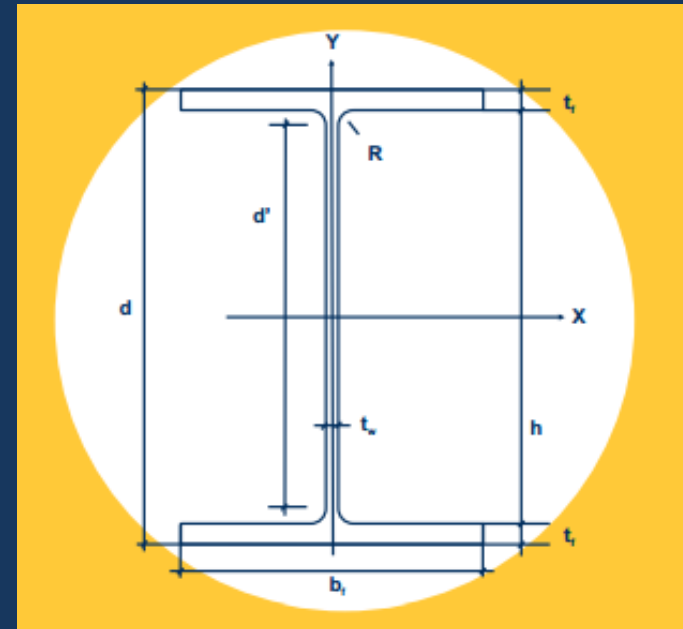
## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

Tabela F.1 — Valores de  $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de $b$ e $t$	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lâminas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixa — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas*		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

\* O coeficiente  $k_c$  é dado em F.2.



Alma:

$$\lambda r = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 36,32$$

$$\lambda = b/t = h/tw = 32,13$$

Como  $\lambda < \lambda r$ ,  $Qa = 1$

# Exemplo: Perfil W150X13

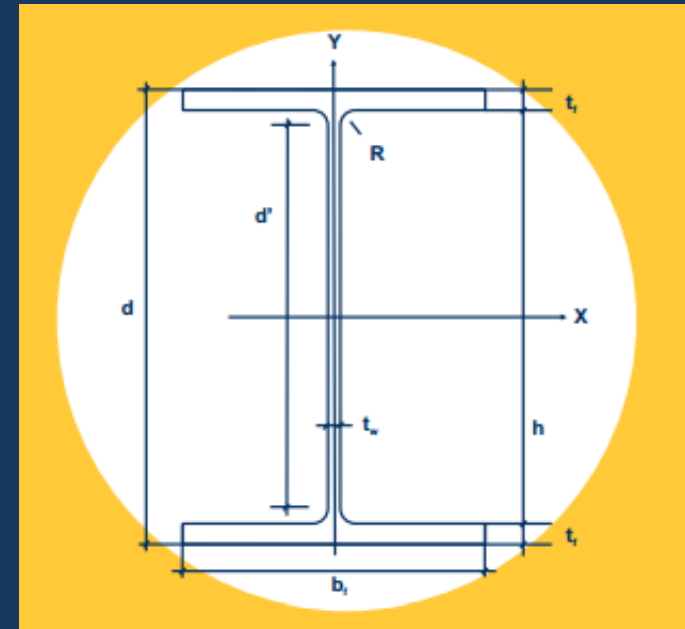
## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

Tabela F.1 — Valores de  $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de $b$ e $t$	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lâminas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas*		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

\* O coeficiente  $k_c$  é dado em F.2.



Mesa:

$$\lambda r = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{20500}{34,5}} = 13,65$$

$$\lambda = b/t = bf/2tf = 50/2 \cdot 4,9 = 5,10$$

Como  $\lambda < \lambda r$ ,  $Q_s = 1$

Portanto:  $Q = Q_a \cdot Q_s = 1$

# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

### E.1.1 Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto

A força axial de flambagem elástica,  $N_c$ , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto é dada por:

- a) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

$$N_{cx} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

- b) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal:

$$N_{cy} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{cx} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 635}{(0,5 \cdot 250)^2} = 8222 \text{ kN}$$

$$N_{cy} = \frac{\pi^2 \cdot 20500 \cdot 82}{(1 \cdot 125)^2} = 1061 \text{ kN}$$

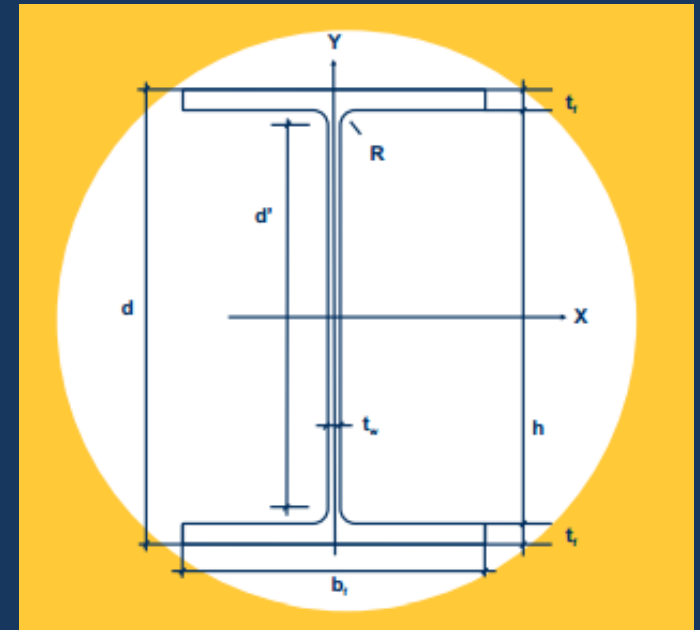
$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_c}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 16,6 \cdot 34,5}{1061}} = 0,73$$

Portanto:

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad \text{quando } \lambda_0 \leq 1,5$$

$$\chi = 0,658^{0,73^2} = 0,80$$



# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

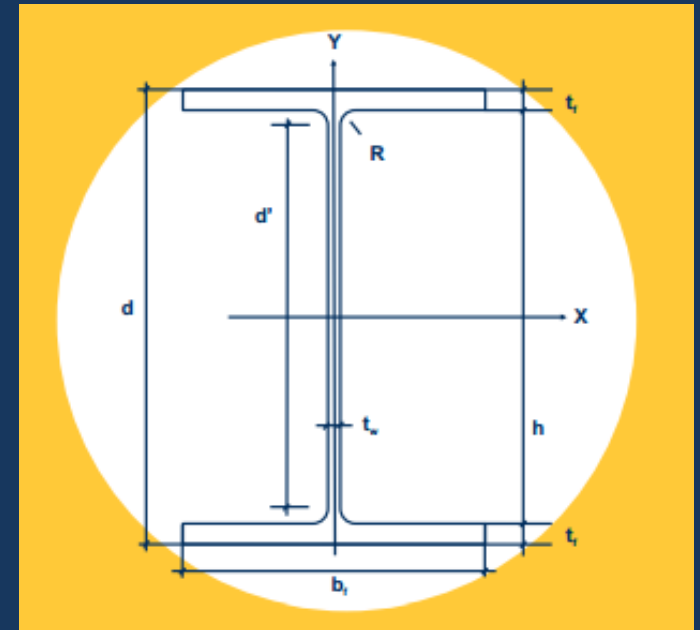
d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

*Voltando à equação original:*

$$NcRd = \frac{\chi \cdot Q \cdot Ag \cdot Fy}{\gamma_1}$$

*Temos:*

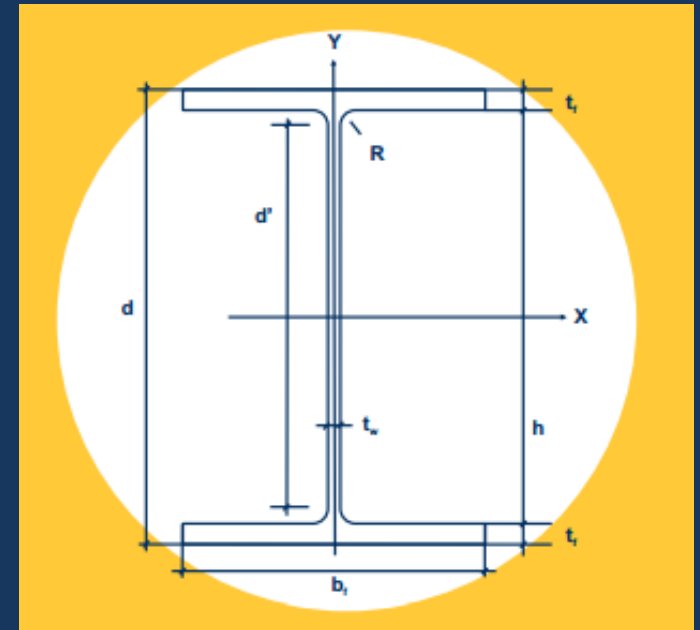
$$NcRd = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 16,6 \cdot 34,5}{1,1} = 416,5 \text{ kN}$$



# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0



*Finalmente, devemos verificar as combinações de Ações*

*Axiais e Momentos fletores, quando estas ações ocorrerem simultaneamente:*

**5.5.1.2** Para a atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores, deve ser obedecida a limitação fornecida pelas seguintes expressões de interação:

a) para  $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + 8 \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

b) para  $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{2 N_{Rd}} + \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

# Exemplo: Perfil W150X13

## W 150 x 13,0

d(mm)	148	Wx(cm <sup>3</sup> )	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm <sup>3</sup> )	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm <sup>3</sup> )	96,4	Área(cm <sup>2</sup> )	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm <sup>3</sup> )	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm <sup>4</sup> )	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm <sup>4</sup> )	82	Peso (kg/m)	13,0

5.5.1.2 Para a atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores, deve ser obedecida a limitação fornecida pelas seguintes expressões de interação:

a) para  $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

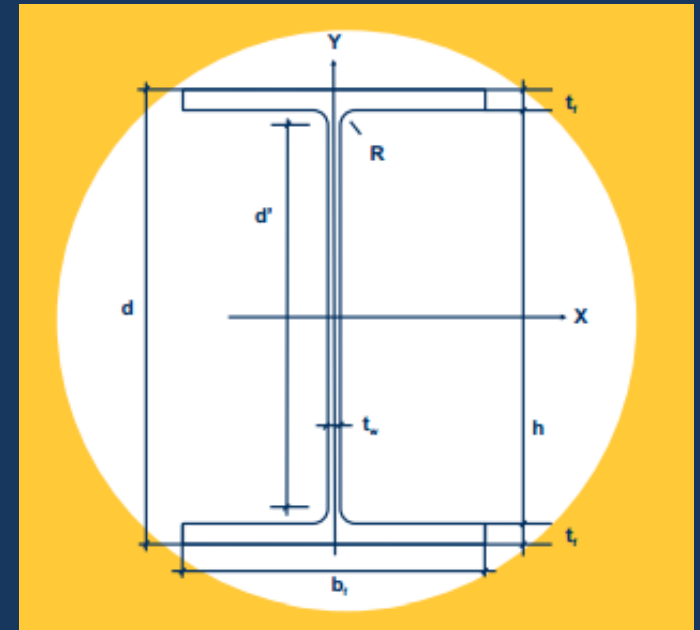
$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + 8 \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$

Supondo que nossa barra estivesse sendo solicitada a uma carga de 20kN de compressão:

$$\frac{N_{sd}}{NRd} = \frac{20}{416} = 0,04 < 0,2 \text{ portanto:}$$

$$\frac{20}{2 \cdot 416} + \left[ \frac{301,04}{2951} \right] = 0,126 < 1 \text{ Portanto}$$

**PERFIL ATENDE A TODAS AS SOLICITAÇÕES**



b) para  $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{2 N_{Rd}} + \left( \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$$