

Módulo 2

Revisão de Resistência dos materiais

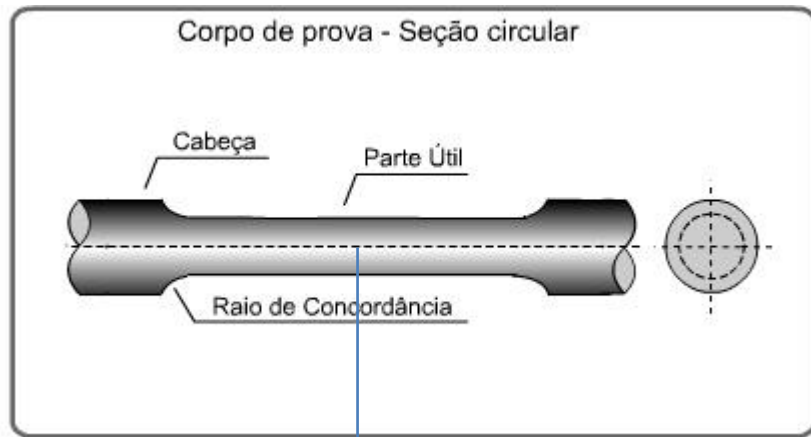
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas – Eng. Felipe Jacob

DEFINIÇÃO DE AÇO:

AÇO = LIGA METÁLICA
COMPOSTA POR

Fe + C (Ferro + Carbono)

ENSAIO DE TRAÇÃO:



$$\sigma = \frac{F}{A}$$

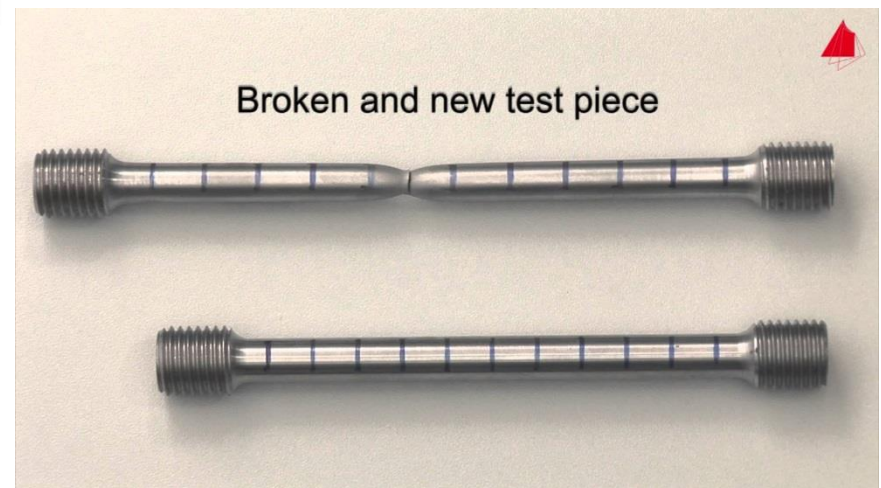
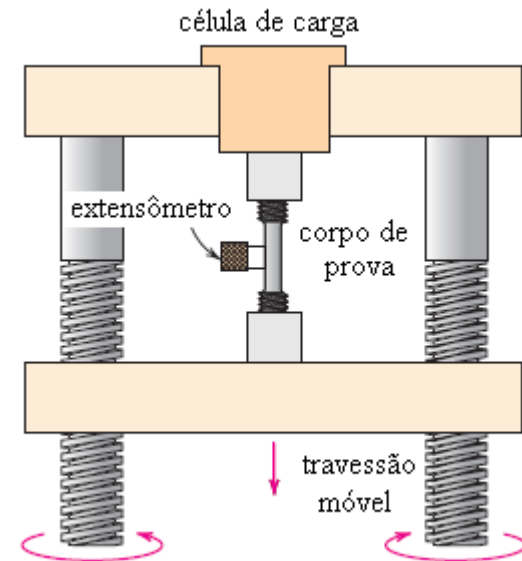
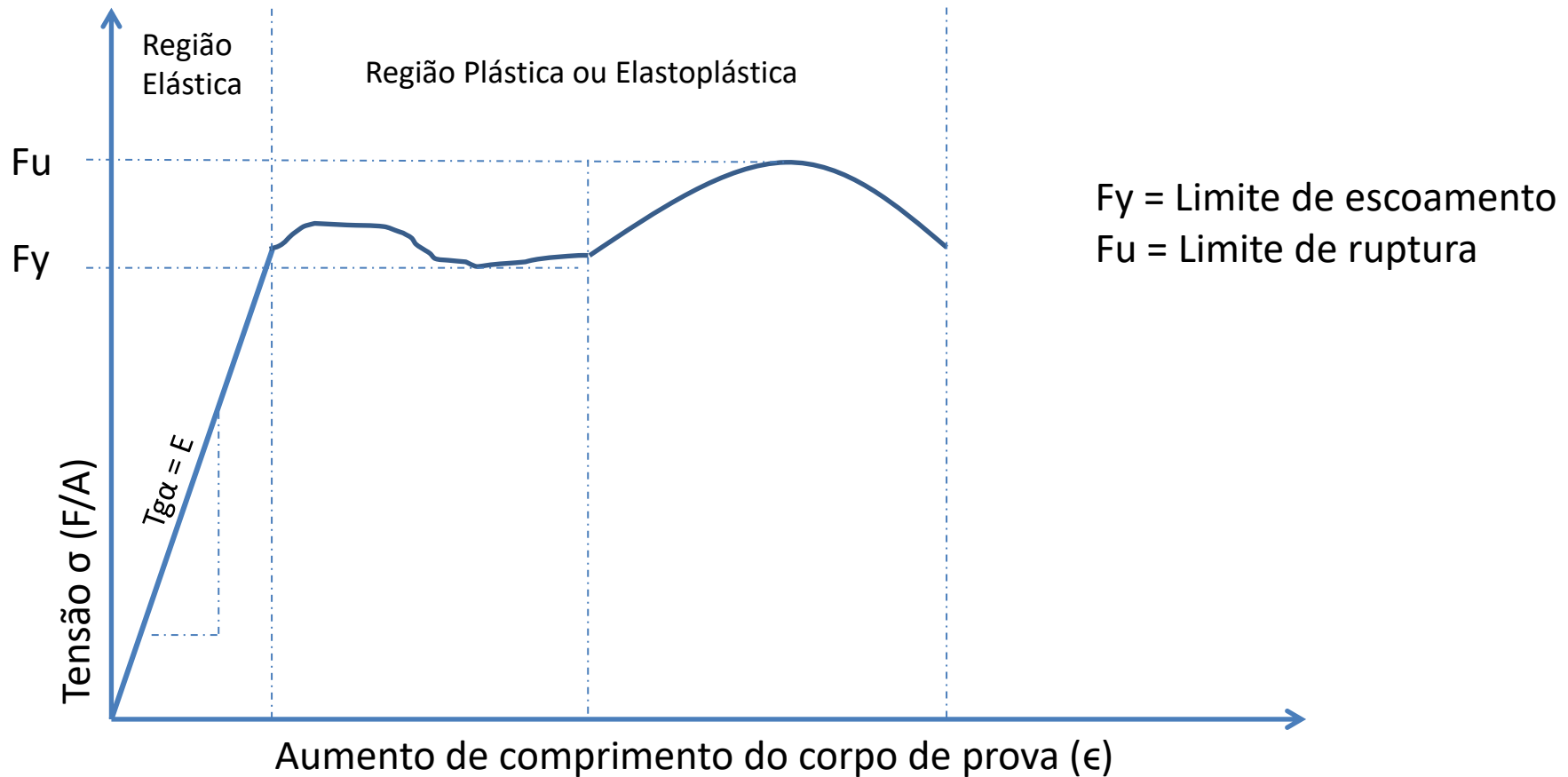
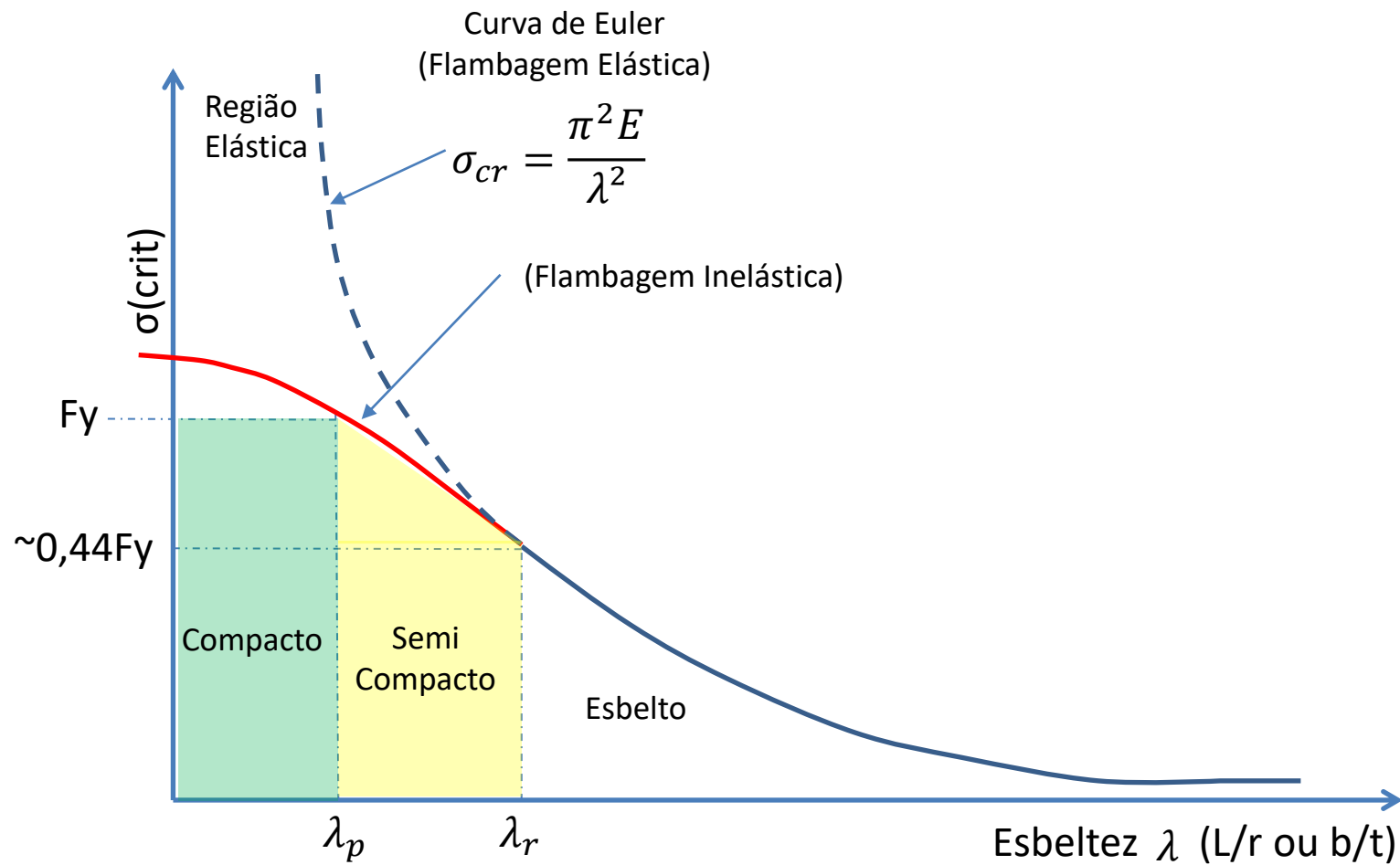


DIAGRAMA TENSÃO X DEFORMAÇÃO:



Curva de Flambagem

F_y = Limite de escoamento



TIPOS DE AÇO:

AÇOS COMUNS PARA CHAPAS E PERFIS ESTRUTURAIS:

ASTM

ASTM A36 – Possui $F_y = 36 \text{ ksi (kilo-libra/pol}^2) \sim 25 \text{ kN/cm}^2$
 $F_u = 40 \text{ kN/cm}^2$

Aço comum usado em chapas e perfis estruturais

ABNT

EB-583

MR250	$F_y = 25 \text{ kN/cm}^2$	$F_u = 40 \text{ kN/cm}^2$
MR290	$F_y = 29 \text{ kN/cm}^2$	$F_u = 41,5 \text{ kN/cm}^2$
MR345	$F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$	$F_u = 45 \text{ kN/cm}^2$

TIPOS DE AÇO:

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA PARA PERFIS ESTRUTURAIS:

ASTM

ASTM A572 – Perfis laminados Açominas

GRAU 42 – $F_y = 29 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 41,5 \text{ kN/cm}^2$

GRAU 50 - $F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 45 \text{ kN/cm}^2$

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA À CORROSÃO ATMOSFÉRICA:

ASTM A242 2x mais resistente à corrosão atmosférica

Grupos 1 e 2: $F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 48 \text{ kN/cm}^2$

Grupo 3: $F_y = 31,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 46 \text{ kN/cm}^2$

ASTM A588: $F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ $F_u = 48,5 \text{ kN/cm}^2$ 4X mais resistente à corrosão atmosférica

TIPOS DE AÇO:

ELEMENTO QUÍMICO	ASTM A36 (PERFIS)	ASTM A572 (GRAU 50)	ASTM A588 (GRAU B)	ASTM A242 (CHAPAS)
% C máx.	0,26	0,23	0,20	0,15
% Mn	... (1)	1,35 máx.	0,75-1,35	1,00 máx.
% P máx.	0,04	0,04	0,04	0,15
% S máx.	0,05	0,05	0,05	0,05
% Si	0,40	0,40 máx.3	0,15-0,50	...
% Ni	...	...	0,50 máx.	...
% Cr	...	...	0,40-0,70	...
% Mo	...	...	...	...
% Cu	0,202	...	0,20-0,40	0,20 mín.
% V	...	...	0,01-0,10	...
(% Nb + %V)	...	0,02-0,15	...	...
Limite de escoamento (MPa)	250 mín.	345 mín.	345 mín.	345 mín.
Limite de resistência (MPa)	400-550	450 mín.	485 mín.	480 mín.
Alongamento Após ruptura, % (lo = 200mm)	20 mín.	18 mín.	18 mín.	18 mín.

PROPRIEDADES DOS AÇOS:

DUCTILIDADE: CAPACIDADE DE SE DEFORMAR QUANDO SUBMETIDO A ESFORÇOS (OPOSTO DE FRAGILIDADE)

RESILIÊNCIA: CAPACIDADE DE ABSORVER ENERGIA NO REGIME ELÁSTICO (TRANSFORMAR ESFORÇOS EM DEFORMAÇÕES NÃO PERMANENTES)

PESO ESPECÍFICO: 7850 kg/m^3

PROPRIEDADES DOS AÇOS:

Como descobrir o peso de uma chapa de aço retangular de 200mm X 350mm de espessura $\frac{3}{4}$ "???

1- converta Polegadas para mm: $\frac{3}{4} \times 25,4\text{mm} = 19,05\text{mm}$ ou 1,905cm

2 – Calcule o volume da chapa em m^3 - $V = 0,200 \times 0,350 \times 0,01905 = 0,00133 \text{ m}^3$

3- Multiplique pelo peso específico do aço: $P = 7850 \text{ kg/m}^3 \times 0,00133 \text{ m}^3 = \mathbf{10,468 \text{ kg}}$



PROPRIEDADES DOS AÇOS:

Qual o peso por metro linear de um perfil de aço, qualquer, cuja área de seção transversal tenha 35,02 cm²

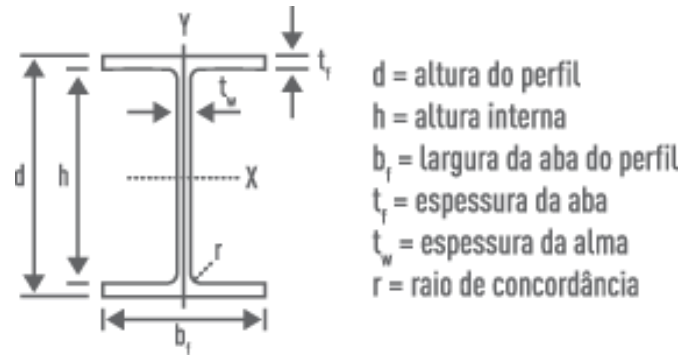
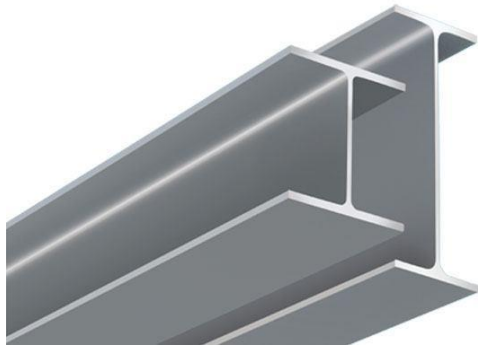
$$m_l = 78,50 \frac{kg}{m^3} \rightarrow 7850 \frac{kg}{10^2 cm \cdot 10^2 cm \cdot m} \rightarrow 0,7850 \frac{kg}{cm^2 \cdot m}$$

$$m_l = 35,02 \cdot 0,7850 = 27,50 kg/m$$



PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

I e H Laminados de abas paralelas.



d = altura do perfil
 h = altura interna
 b_f = largura da aba do perfil
 t_f = espessura da aba
 t_w = espessura da alma
 r = raio de concordância

Codificação:

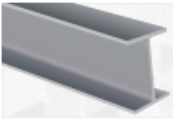
W150X13,0 – Perfil I ~150mm de altura e 13 kg por metro linear (bom para Vigas e Momentos unidirecionais)

W200X46,1 (H) – Perfil H ~200mm de altura e largura x 46,1 kg/metro (melhor para pilares e peças sujeitas à compressão e à flexão bi-direcional)

HP310X79,0 – Perfil da série Pesada, com 310mm de altura e 79kg/m (também recomenda-se seu uso em pilares de alta compressão)

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

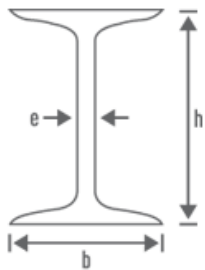
Perfil I – Abas Inclinadas



Bitola (h x b)		Alma	Espessura da alma (e)		Peso teórico kg/m
pol.	mm		mm	pol.	
3" x 2.3/8"	76,20 x 59,20	1ª	4,32	0,170	8,48
3" x 2.3/8"	76,20 x 61,20	2ª	6,38	0,251	9,68
4" x 2.5/8"	101,60 x 67,60	1ª	4,90	0,193	11,46
4" x 2.5/8"	101,60 x 69,20	2ª	6,43	0,253	12,65
5" x 3"	127,00 x 76,20	1ª	5,44	0,214	14,88
5" x 3"	127,00 x 79,70	2ª	8,81	0,347	18,20
6" x 3.3/8"	152,40 x 84,60	1ª	5,89	0,232	18,60
6" x 3.3/8"	152,40 x 87,50	2ª	8,71	0,343	22,00

Barras com 6 e 12m

Normas: NBR 7007 MR 250 / ASTM A-36



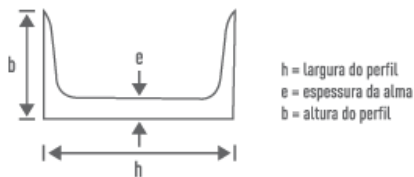
b = largura do perfil
e = espessura da alma
h = altura do perfil

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

U Laminado de Abas inclinadas

Bitola (h x b)		Alma	Espessura da alma (e)		Peso teórico kg/m
pol.	mm		mm	pol.	
3" x 1.1/2"	76,20 x 35,81	1ª	4,32	0,170	6,11
3" x 1.1/2"	76,20 x 38,05	2ª	6,55	0,258	7,44
4" x 1.5/8"	101,60 x 40,23	1ª	4,67	0,183	7,95
4" x 1.5/8"	101,60 x 41,83	2ª	6,27	0,246	9,30
6" x 2"	152,40 x 48,80	1ª	5,08	0,200	12,20
6" x 2"	152,40 x 51,70	2ª	7,98	0,314	15,60
8" x 2.1/4"	203,20 x 57,15	1ª	5,59	0,220	17,10
8" x 2.1/4"	203,20 x 57,15	2ª	7,70	0,303	20,50
10" x 2.5/8"	254,00 x 66,68	1ª	6,10	0,240	22,70
10" x 2.5/8"	254,00 x 66,68	2ª	9,63	0,379	29,80
12" x 3"	304,80 x 76,20	1ª	7,11	0,280	30,70
12" x 3"	304,80 x 76,20	2ª	9,83	0,387	37,20
15" x 3.3/8"	381,00 x 85,73	1ª	10,20	0,400	50,40
15" x 3.3/8"	381,00 x 85,73	2ª	10,70	0,422	52,10

Barras com 6 e 12m – Normas: NBR 7007 MR 250 / ASTM A-36



PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

Cantoneiras laminadas de abas iguais



Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m
1/8 x 1/2"	0,55	3/16 x 1.3/4"	3,15	1/4 x 4"	9,81	3/8 x 6"	22,20
1/8 x 5/8"	0,71	3/16 x 2	3,63	5/16 x 2"	5,83	1/2 x 3"	13,90
1/8 x 3/4"	0,87	3/16 x 2.1/2"	4,52	5/16 x 2.1/2"	7,44	1/2 x 4"	19,05
1/8 x 7/8"	1,04	3/16 x 3"	5,52	5,16 x 3"	9,07	1/2 x 5"	24,10
1/8 x 1"	1,19	1/4 x 1"	2,29	5/16 x 3.1/2"	10,70	1/2 x 6"	29,20
1/8 x 1.1/4"	1,50	1/4 x 1.1/4"	2,86	5/16 x 4"	12,19	5/8 x 4"	23,42
1/8 x 1.1/2"	1,83	1/4 x 1.1/2"	3,48	3/8 x 2"	6,99	5/8 x 5"	29,80
1/8 x 1.3/4"	2,14	1/4 x 1.3/4"	4,12	3/8 x 2.1/2"	8,78	5/8 x 6"	36,00
1/8 x 2"	2,46	1/4 x 2"	4,75	3/8 x 3"	10,72	5/8 x 8"	48,78
3/16 x 1"	1,73	1/4 x 2.1/2"	6,10	3/8 x 3.1/2"	12,50	3/4 x 5"	35,10
3/16 x 1.1/4"	2,20	1/4 x 3"	7,30	3/8 x 4"	14,58	3/4 x 6"	42,70
3/16 x 1.1/2"	2,68	1/4 x 3.1/2"	8,63	3/8 x 5"	18,30	3/4 x 8"	57,80

Normas: NBR 7007 graus, MR 250 (ASTM A-36) , AR 350 (ASTM A-572 GR50), AR 350COR (ASTM A-572 GR60) e AR 415 (ASTM A-588 GRB)

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

Barras Chatas (ferro chato)



Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m	Bitola	Peso Teórico Kg/m
2,50mm x 1/2"	0,25	1/4 x 1/2"	0,63	3/8 x 1.1/2"	2,85	5/8 x 3.1/2"	11,08
1/8 x 3/8"	0,24	1/4 x 5/8"	0,79	3/8 x 1.3/4"	3,33	5/8 x 4"	12,67
1/8 x 1/2"	0,32	1/4 x 3/4"	0,95	3/8 x 2"	3,80	5/8 x 5"	15,83
1/8 x 5/8"	0,40	1/4 x 7/8"	1,11	3/8 x 2.1/2"	4,75	5/8 x 6"	19,00
1/8 x 3/4"	0,48	1/4 x 1"	1,27	3/8 x 3"	5,70	3/4 x 1"	3,80
1/8 x 7/8"	0,55	1/4 x 1.1/4"	1,58	3/8 x 3.1/2"	6,65	3/4 x 1.1/4"	4,75
1/8 x 1"	0,63	1/4 x 1.1/2"	1,90	3/8 x 4"	7,60	3/4 x 1.1/2"	5,70
1/8 x 1.1/4"	0,79	1/4 x 1.3/4"	2,22	3/8 x 5"	9,50	3/4 x 1.3/4"	6,65
1/8 x 1.1/2"	0,95	1/4 x 2"	2,53	3/8 x 6"	11,40	3/4 x 2"	7,60
1/8 x 1.3/4"	1,11	1/4 x 2.1/2"	3,17	1/2 x 1"	2,53	3/4 x 2.1/2"	9,50
1/8 x 2"	1,27	1/4 x 3"	3,80	1/2 x 1.1/4"	3,17	3/4 x 3"	11,40
1/8 x 2.1/2"	1,59	1/4 x 4"	5,06	1/2 x 1.1/2"	3,80	3/4 x 3.1/2"	13,29
1/8 x 3"	1,90	1/4 x 5"	6,33	1/2 x 1.3/4"	4,43	3/4 x 4"	15,19
1/8 x 4"	2,54	1/4 x 6"	7,60	1/2 x 2"	5,06	3/4 x 5"	18,99
3/16 x 1/2"	0,47	5/16 x 1"	1,58	1/2 x 2.1/2"	6,33	3/4 x 6"	22,79
3/16 x 5/8"	0,59	5/16 x 1.1/4"	1,98	1/2 x 3"	7,60	1 x 1.1/4"	6,33
3/16 x 3/4"	0,71	5/16 x 1.1/2"	2,37	1/2 x 3.1/2"	8,86	1 x 1.1/2"	7,60
3/16 x 7/8"	0,83	5/16 x 1.3/4"	2,77	1/2 x 4"	10,13	1 x 1.3/4"	8,86
3/16 x 1"	0,95	5/16 x 2"	3,17	1/2 x 5"	12,66	1 x 2"	10,13
3/16 x 1.1/4"	1,19	5/16 x 2.1/2"	3,96	1/2 x 6"	15,19	1 x 2.1/2"	12,66
3/16 x 1.1/2"	1,42	5/16 x 3"	4,75	5/8 x 1"	3,17	1 x 3"	15,19
3/16 x 1.3/4"	1,66	5/16 x 3.1/2"	5,54	5/8 x 1.1/4"	3,96	1 x 4"	20,26
3/16 x 2"	1,90	5/16 x 4"	6,33	5/8 x 1.1/2"	4,75	1 x 5"	25,32
3/16 x 2.1/2"	2,37	5/16 x 5"	7,92	5/8 x 1.3/4"	5,54	1 x 6"	30,39
3/16 x 3"	2,85	5/16 x 6"	9,50	5/8 x 2"	6,33		
3/16 x 4"	3,80	3/8 x 1"	1,90	5/8 x 2.1/2"	7,92		
3/16 x 5"	4,75	3/8 x 1.1/4"	2,38	5/8 x 3"	9,50		

Geralmente usados para acabamento ou Enrijecedores

Também podem ser usados para fabricar chapas de ligação.

Barras com 6m. Comprimentos diferenciados sob consulta. Normas: NBR 7007 graus, MR 250 (ASTM A-36), SAE 1045 e 5160

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas - Eng. Felipe Jacob

PERFIS ESTRUTURAIS LAMINADOS

Barra Redonda Laminada



Bitola		Peso teórico kg/m
pol.	mm	
1/4"	6,35	0,25
5/16"	7,94	0,39
3/8"	9,53	0,56
1/2"	12,70	0,99
9/16"	14,29	1,26
5/8"	15,88	1,56
11/16"	17,46	1,88
3/4"	19,05	2,24
7/8"	22,23	3,05
1"	25,40	3,98
1.1/8"	28,58	5,04
1.1/4"	31,75	6,22
1.5/16"	33,34	6,85
1.3/8"	34,93	7,52
1.7/16"	36,51	8,22
1.1/2"	38,10	8,95
1.9/16"	39,69	9,71
1.5/8"	41,28	10,50
1.3/4"	44,45	12,18
1.13/16"	46,04	13,06
1.7/8"	47,63	13,98
2"	50,80	15,91
2.1/16"	52,39	16,92
2.1/8"	53,98	17,96
2.1/4"	57,15	20,14
2.5/16"	58,74	21,28
2.3/8"	60,33	22,43
2.7/16"	61,91	23,63
2.1/2"	63,50	24,86

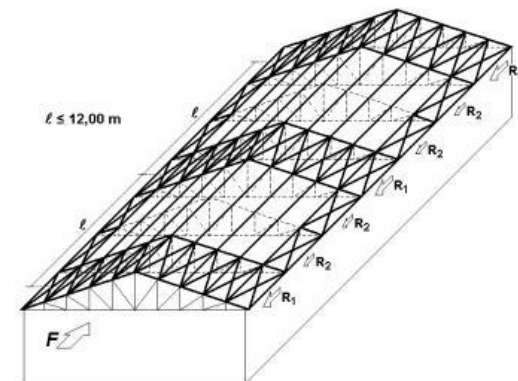
Bitola		Peso teórico kg/m
pol.	mm	
2.9/16"	65,09	26,11
2.5/8"	66,68	27,40
2.3/4"	69,85	30,08
2.7/8"	73,03	32,87
3"	76,20	35,79
3.1/8"	79,38	38,84
3.1/4"	82,55	42,01
3.1/2"	88,90	48,73
3.3/4"	95,25	55,88
4"	101,60	63,58
4.1/4"	107,95	71,78
4.1/2"	114,30	80,47
4.3/4"	120,65	89,66
5"	127,00	99,80
*	130,00	104,17
5.1/4"	133,35	109,50
5.1/2"	139,70	120,20
5.3/4"	146,05	131,40
6"	152,40	143,10
6.1/4"	158,75	155,20
6.1/2"	165,10	167,90
6.3/4"	171,45	181,10
7"	177,80	194,70
7.1/2"	190,50	223,80
8"	203,20	254,60
8.1/2"	215,90	287,40
9"	228,60	322,10
9.1/2"	241,30	359,00
10"	254,00	397,80

Barras com 5 a 7m

Normas: NBR 7007 MR 250 / ASTM A-36, SAE 1020 e SAE 1045

Trabalho somente à tração.

Usado em contraventamentos de coberturas e em alguns casos para contraventar pilares e pórticos.

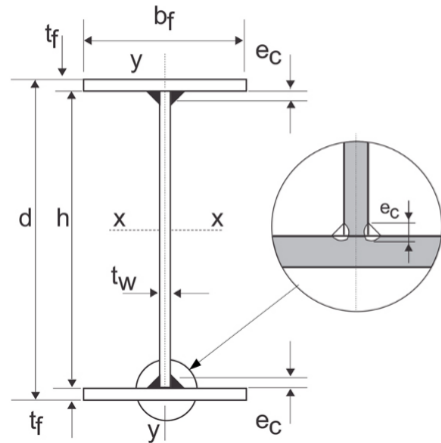


PERFIS ESTRUTURAIS SOLDADOS



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas - Eng. Felipe Jacob

PERFIS ESTRUTURAIS SOLDADOS



Abreviaturas e propriedades

d : Altura do Perfil

bf : Largura da Mesa

tw : Espessura da alma

tf : Espessura da mesa

h : Altura da alma

*ec : Perna efetiva do cordão de solda (dimensão efetiva mínima do filete, compatível com a maior espessura do metal base na junta).

A : Área da seção transversal

P : Peso do perfil por metro linear, excluindo peso dos filetes de solda.

U : Área de pintura por metro linear.

EIXO $x-x$: Linha paralela à mesa, que passa pelo centro de gravidade da seção transversal do perfil

EIXO $y-y$: Linha perpendicular ao eixo $x-x$ que passa pelo centro de gravidade da seção transversal do perfil.

I_x = Momento de inércia em relação ao eixo $x-x$

$W_x = 2I_x/d$ - Módulo de resistência elástica da seção em relação ao eixo $x-x$

$r_x = \sqrt{I_x/A}$ Raio de giração em relação ao eixo $x-x$

Z_x = Módulo de resistência plástica em relação ao eixo $x-x$

I_y = Momento de inércia em relação ao eixo $y-y$

$W_y = 2I_y/bf$ - Módulo de resistência elástica da seção em relação ao eixo $y-y$

$r_y = \sqrt{I_y/A}$ Raio de giração em relação ao eixo $x-x$

Z_y = Módulo de resistência plástica em relação ao eixo $y-y$

rT = Raio de giração da seção formada pela mesa comprimida mais 1/6 da alma em relação ao eixo $y-y$

$IT = [(h + tf) \cdot tw^3 + 2 \cdot bf \cdot tf^3]/3$ - Momento de inércia à torção

* A resistência dos dois filetes mínimos em alguns perfis não corresponde à resistência máxima da alma ao cisalhamento.

Tipos:

CS – Coluna Soldada ($d/bf \sim 1$)

VS – Viga Soldada ($d/bf \sim 2$)

CVS – Coluna-Viga Soldada ($d/bf \sim 1,5$)

Podem ser elaborados perfis personalizados, com abas, e almas, nervuras, variação de seção, altura, furação, etc

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS



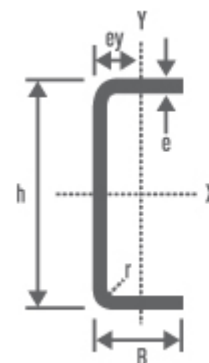
**CHAMADO PERFIL FORMADO A FRIO OU PFF
CÁLCULO BASEADO EM NORMA ESPECÍFICA:
NBR14.762/2010**

**CHAPAS FINAS: Em geral $< 5\text{mm}$
ESPESSURA CONSTANTE
MAIS LEVES.**

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS

U DOBRADO SIMPLES

Dimensão			S	P	Jx	Wx	ix	ey	Jy	Wy	iy
h	B	e=r	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm
mm	mm	mm									
50	25	2,00	1,75	1,38	6,66	2,60	1,94	0,71	1,07	0,60	0,78
		2,25	2,07	1,62	7,70	3,00	1,92	0,73	1,26	0,71	0,77
		2,65	2,38	1,86	8,66	3,40	1,90	0,75	1,43	0,82	0,77
		3,00	2,67	2,10	9,55	3,80	1,88	0,77	1,59	0,92	0,77
75	38	2,00	2,80	2,20	25,10	6,60	2,99	1,12	4,55	1,58	1,27
		2,25	3,32	2,61	29,43	7,80	2,97	1,14	5,37	1,88	1,27
		2,65	3,84	3,01	33,56	8,90	2,95	1,16	6,15	2,17	1,26
		3,00	4,35	3,41	37,49	9,90	2,93	1,18	6,91	2,45	1,26
100	40	4,75	6,48	5,09	52,75	14,00	2,85	1,27	10,00	3,66	1,24
		2,00	3,27	2,57	49,01	9,80	3,86	0,97	4,99	1,65	1,23
		2,25	3,89	3,06	57,67	11,50	3,84	0,99	5,89	1,96	1,22
		2,65	4,51	3,54	65,99	13,10	3,82	1,01	6,76	2,26	1,22
100	50	3,00	5,11	4,01	73,99	14,70	3,80	1,03	7,61	2,56	1,22
		4,75	7,67	6,02	105,90	21,10	3,71	1,11	11,09	3,84	1,20
		2,00	3,65	2,87	58,15	11,60	3,98	1,34	9,24	2,52	1,58
		2,25	4,35	3,41	68,55	13,70	3,96	1,36	10,94	3,00	1,58
127	50	2,65	5,04	3,95	78,60	15,70	3,94	1,38	12,59	3,48	1,58
		3,00	5,71	4,48	88,29	17,60	3,92	1,40	14,20	3,94	1,57
		4,75	8,63	6,77	127,50	25,40	3,84	1,48	20,89	5,84	1,55
		2,00	4,17	3,27	101,30	15,90	4,92	1,19	9,94	2,61	1,54
150	50	2,25	4,97	3,90	119,60	18,80	4,90	1,20	11,78	3,10	1,53
		2,65	5,76	4,52	137,50	21,60	4,88	1,22	13,57	3,59	1,53
		3,00	6,53	5,13	154,80	24,30	4,86	1,24	15,32	4,08	1,53
		4,75	9,91	7,78	225,90	35,50	4,77	1,32	22,66	6,16	1,51
200	50	2,00	4,60	3,61	149,90	19,90	5,70	1,08	10,42	2,66	1,50
		2,25	5,49	4,31	177,40	23,60	5,68	1,10	12,35	3,17	1,49
		2,65	6,37	5,00	204,10	27,20	5,65	1,12	14,24	3,67	1,49
		3,00	7,23	5,68	230,10	30,60	5,63	1,13	16,08	4,16	1,49
200	50	4,75	11,01	8,64	338,00	45,00	5,54	1,21	23,84	6,30	1,47
		2,00	5,55	4,39	299,30	29,90	7,33	0,91	11,20	2,74	1,41
		2,25	6,63	5,20	354,90	35,40	7,31	0,93	13,28	3,26	1,41
		2,65	7,70	6,04	409,30	40,90	7,28	0,95	15,32	3,78	1,41
200	50	3,00	8,75	6,87	462,40	46,20	7,26	0,96	17,31	4,29	1,40
		4,75	13,39	10,51	686,20	68,60	7,15	1,04	25,76	6,51	1,38



S = área de secção

P = peso estimado por metro

Jx = momento de inércia (eixo X)

Wx = módulo de resistência (eixo X)

ix = raio de giro (eixo X)

ey = distância da linha neutra

Jy = momento de inércia (eixo Y)

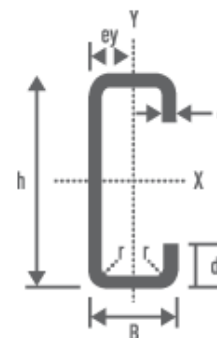
Wy = módulo de resistência (eixo Y)

iy = raio de giro (eixo Y)

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS

U DOBRADO ENRIJECIDO

Dimensão				S	P	Jx	Wx	ix	ey	Jy	Wy	iy
h	B	d	e=r	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm
mm	mm	mm	mm									
50	25	10	2,00	2,00	1,57	7,40	2,96	1,92	0,92	1,68	1,06	0,92
			2,25	2,33	1,83	8,40	3,36	1,90	0,92	1,87	1,18	0,90
			2,65	2,64	2,07	9,28	3,71	1,88	0,91	2,02	1,28	0,88
			3,00	2,92	2,30	10,04	4,01	1,85	0,91	2,15	1,35	0,86
75	40	15	2,00	3,23	2,54	28,46	7,59	2,97	1,50	7,43	2,97	1,52
			2,25	3,81	2,99	33,01	8,80	2,94	1,49	8,52	3,40	1,50
			2,65	4,37	3,43	37,25	9,93	2,92	1,49	9,50	3,78	1,48
			3,00	4,90	3,85	41,18	10,98	2,90	1,48	10,38	4,13	1,46
100	50	17	2,00	4,16	3,27	66,05	13,20	3,98	1,78	14,87	4,61	1,89
			2,25	4,93	3,87	77,21	15,44	3,96	1,77	17,21	5,33	1,87
			2,65	5,67	4,45	87,80	17,56	3,94	1,77	19,36	5,99	1,85
			3,00	6,39	5,02	97,83	19,57	3,91	1,76	21,35	6,59	1,83
127	50	17	2,00	4,68	3,67	115,45	18,18	4,97	1,59	16,17	4,74	1,86
			2,25	5,54	4,35	135,33	21,31	4,94	1,59	18,71	5,48	1,84
			2,65	6,39	5,01	154,31	24,30	4,92	1,58	21,07	6,17	1,82
			3,00	7,21	5,66	172,40	27,15	4,89	1,58	23,24	6,79	1,80
150	60	20	2,00	5,61	4,40	195,38	26,05	5,90	1,92	28,36	6,95	2,25
			2,25	6,66	5,23	229,93	30,66	5,88	1,91	33,03	8,08	2,23
			2,65	7,69	6,04	263,19	35,09	5,85	1,91	37,42	9,15	2,21
			3,00	8,70	6,83	295,19	39,36	5,82	1,91	41,53	10,14	2,18
200	75	25	2,65	10,08	7,92	614,20	61,42	7,80	2,32	77,80	15,02	2,78
			3,00	11,44	8,98	691,93	69,19	7,78	2,32	86,90	16,76	2,76
			3,35	12,76	10,02	766,84	76,68	7,75	2,31	95,46	18,40	2,73
			3,75	14,07	11,04	839,21	83,92	7,72	2,31	103,55	19,94	2,71
			4,25	15,35	12,05	909,31	90,93	7,70	2,30	111,20	21,40	2,69
			4,75	17,26	13,55	1012,80	101,28	7,66	2,30	123,17	23,67	2,67

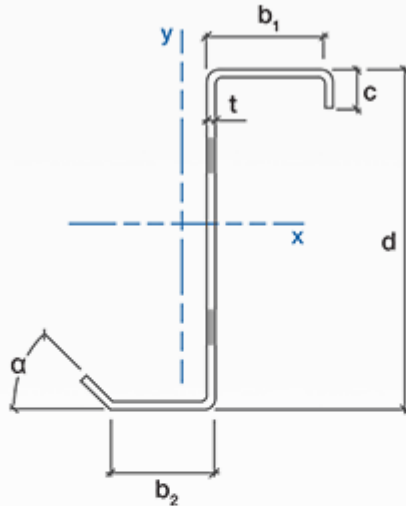


S = área de seção
 P = peso estimado por metro
 Jx = momento de inércia (eixo X)
 Wx = módulo de resistência (eixo X)
 ix = raio de giro (eixo X)
 ey = distância da linha neutra
 Jy = momento de inércia (eixo Y)
 Wy = módulo de resistência (eixo Y)
 iy = raio de giro (eixo Y)

PERFIS ESTRUTURAIS DOBRADOS

Z DOBRADO ENRIJECIDO

■ PERFIS TIPO Z



Altura (d)	100 a 400mm
Mesa Superior (b1)	50 a 100mm
Mesa Inferior (b2)	50 a 100mm
Enrijecedores (c)	18 a 24mm
Espessura (t)	2,00 a 3,65mm
Ângulo Enrijecedor (α)	55° a 90°

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS: MÉTODOS DE OBTENÇÃO:

Método 1 – TABELAS DE PERFIS

Método 2 – Manualmente

Método 3 – Utilizando um software CAD

Método 4 – Utilizando CameliaX (para perfis dobrados).

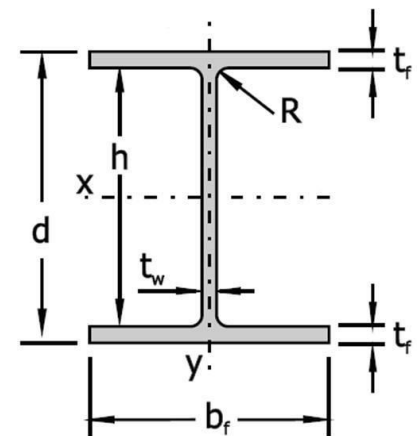
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL:

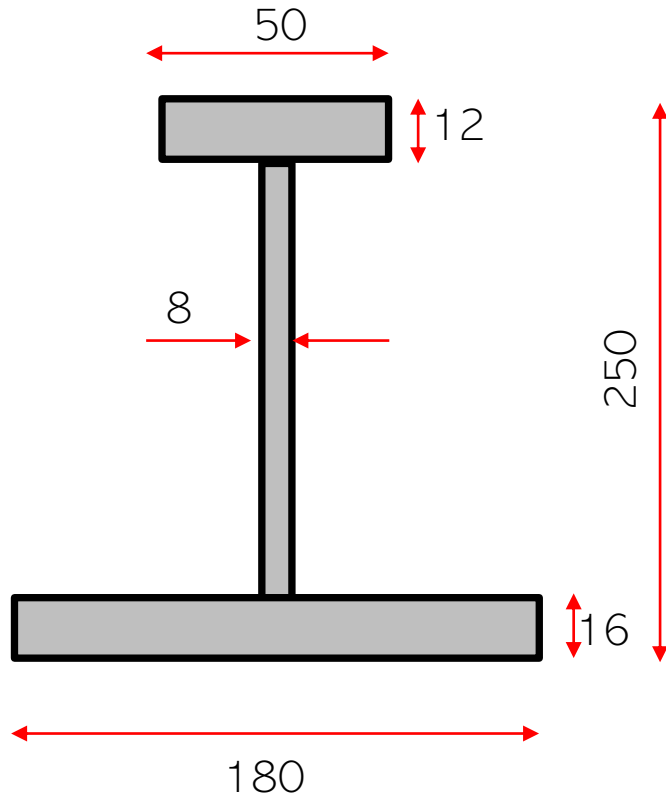
Representa a quantidade de material existente num perfil.

Expressos em cm^2 , geralmente encontra-se em todas as tabelas de perfis.

IMPORTANTE NO CÁLCULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:



$$A = 5 \cdot 1,2 + 18 \cdot 1,6 + (25 - 1,2 - 1,6) \cdot 0,8 = 52,56 \text{ cm}^2$$

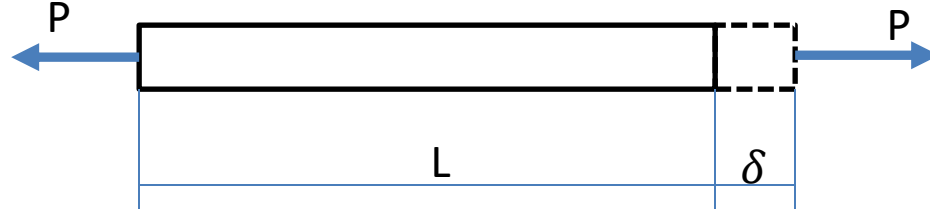
$$m = 0,7850 \cdot 52,56 = 41,26 \text{ kg/m}$$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Alongamento de uma barra qualquer:

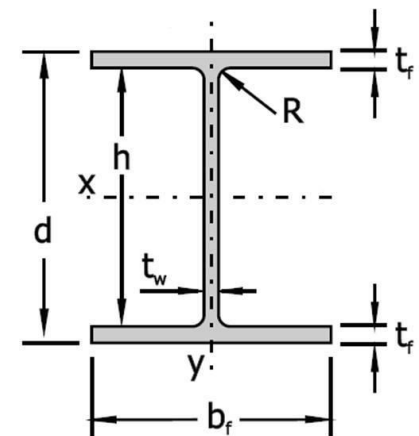
Se a tensão de tração for uniformemente distribuída e constante e o material for sempre o mesmo com mesma seção transversal o alongamento de uma barra submetida à tração axial (dentro do regime elástico) se dará por:

$$\delta = \frac{P \cdot L}{E \cdot A}$$

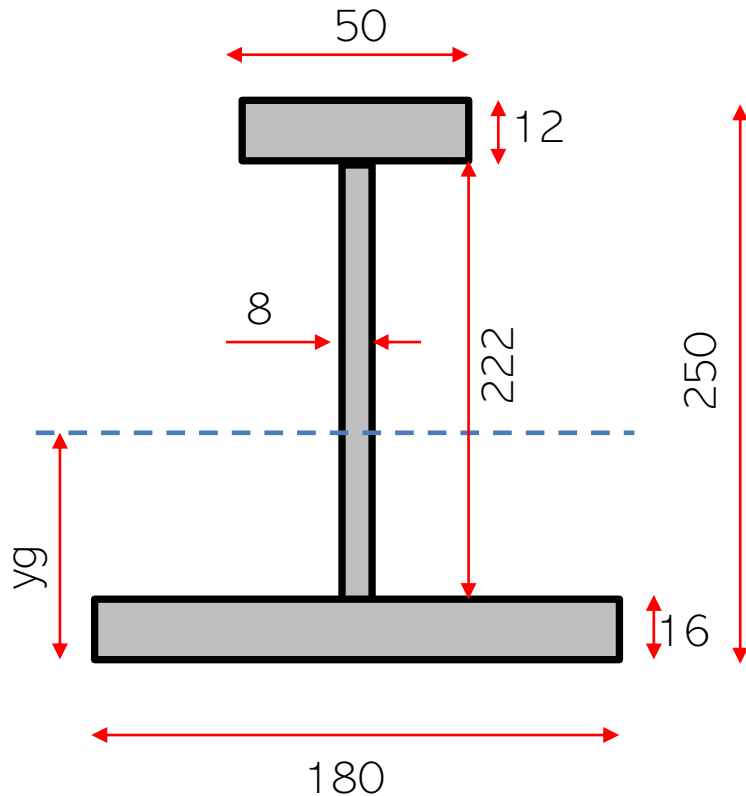


PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

- Centro de Gravidade (CG):
- Ponto onde se equilibram os momentos estáticos da peça



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:



$$y_g = \frac{(5 \cdot 12) \cdot (25 - 0,6) + (22,2 \cdot 0,8) \cdot \left(\frac{22,2}{2} + 1,6\right) + (18 \cdot 1,6) \cdot \left(\frac{1,6}{2}\right)}{52,56}$$

$$y_g = \frac{146,4 + 225,55 + 23,04}{52,56} = 7,51 \text{ cm}$$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

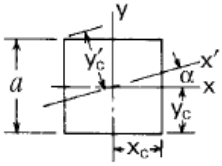
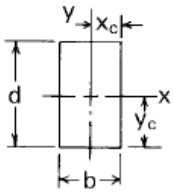
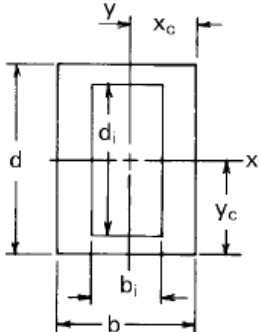
- Momento de inércia I_x e I_y
- Representa a quantidade de material que
- se deposita fora do centro de gravidade.

Quanto mais material longe do centro de gravidade, maior o momento de inércia

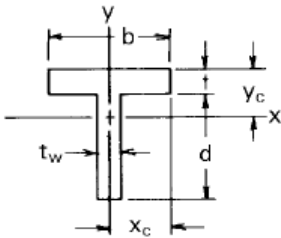
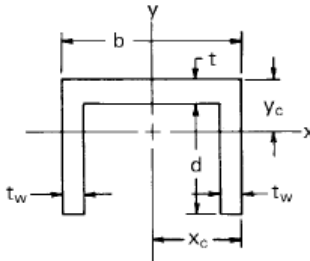
IMPORTANTE NO CÁLCULO DE FLECHAS E TENSÕES EM PONTOS ESPECÍFICOS

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas – Eng. Felipe Jacob

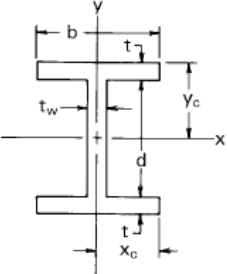
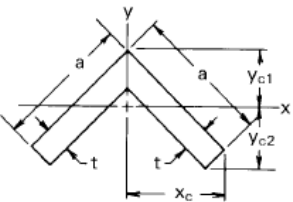
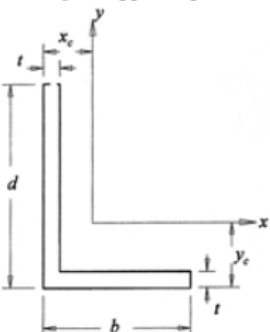
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Form of section	Area and distances from centroid to extremities	Moments and products of inertia and radii of gyration about central axes	Plastic section moduli, shape factors, and locations of plastic neutral axes
<p>1. Square</p> 	$A = a^2$ $y_c = x_c = \frac{a}{2}$ $y'_c = 0.707a \cos\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)$	$I_x = I_y = I'_x = \frac{1}{12}a^4$ $r_x = r_y = r'_x = 0.2887a$	$Z_x = Z_y = 0.25a^3$ $SF_x = SF_y = 1.5$
<p>2. Rectangle</p> 	$A = bd$ $y_c = \frac{d}{2}$ $x_c = \frac{b}{2}$	$I_x = \frac{1}{12}bd^3$ $I_y = \frac{1}{12}db^3$ $I_x > I_y \quad \text{if } d > b$ $r_x = 0.2887d$ $r_y = 0.2887b$	$Z_x = 0.25bd^2$ $Z_y = 0.25db^2$ $SF_x = SF_y = 1.5$
<p>3. Hollow rectangle</p> 	$A = bd - b_i d_i$ $y_c = \frac{d}{2}$ $x_c = \frac{b}{2}$	$I_x = \frac{bd^3 - b_i d_i^3}{12}$ $I_y = \frac{db^3 - d_i b_i^3}{12}$ $r_x = \left(\frac{I_x}{A}\right)^{1/2}$ $r_y = \left(\frac{I_y}{A}\right)^{1/2}$	$Z_x = \frac{bd^2 - b_i d_i^2}{4}$ $SF_x = \frac{Z_x d}{2I_x}$ $Z_y = \frac{db^2 - d_i b_i^2}{4}$ $SF_y = \frac{Z_y b}{2I_y}$

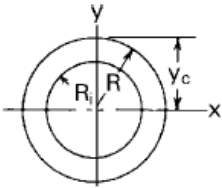
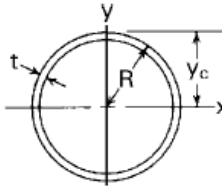
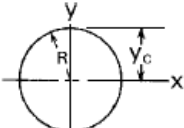
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

<p>4. Tee section</p> 	$A = tb + t_w d$ $y_c = \frac{bt^2 + t_w d(2t + d)}{2(tb + t_w d)}$ $x_c = \frac{b}{2}$	$I_x = \frac{b}{3}(d + t)^3 - \frac{d^3}{3}(b - t_w) - A(d + t - y_c)^2$ $I_y = \frac{tb^3}{12} + \frac{dt_w^3}{12}$ $r_x = \left(\frac{I_x}{A}\right)^{1/2}$ $r_y = \left(\frac{I_y}{A}\right)^{1/2}$	<p>If $t_w d \geq bt$, then</p> $Z_x = \frac{d^2 t_w}{4} - \frac{b^2 t^2}{4t_w} + \frac{bt(d + t)}{2}$ <p>Neutral axis x is located a distance $(bt/t_w + d)/2$ from the bottom.</p> <p>If $t_w d \leq bt$, then</p> $Z_x = \frac{t^2 b}{4} + \frac{t_w d(t + d - t_w d/2b)}{2}$ <p>Neutral axis x is located a distance $(t_w d/b + t)/2$ from the top.</p> $SF_x = \frac{Z_x(d + t - y_c)}{I_x}$ $Z_y = \frac{b^2 t + t_w^2 d}{4}$ $SF_y = \frac{Z_y b}{2I_y}$
<p>5. Channel section</p> 	$A = tb + 2t_w d$ $y_c = \frac{bt^2 + 2t_w d(2t + d)}{2(tb + 2t_w d)}$ $x_c = \frac{b}{2}$	$I_x = \frac{b}{3}(d + t)^3 - \frac{d^3}{3}(b - 2t_w) - A(d + t - y_c)^2$ $I_y = \frac{(d + t)b^3}{12} - \frac{d(b - 2t_w)^3}{12}$ $r_x = \left(\frac{I_x}{A}\right)^{1/2}$ $r_y = \left(\frac{I_y}{A}\right)^{1/2}$	<p>If $2t_w d \geq bt$, then</p> $Z_x = \frac{d^2 t_w}{2} - \frac{b^2 t^2}{8t_w} + \frac{bt(d + t)}{2}$ <p>Neutral axis x is located a distance $(bt/2t_w + d)/2$ from the bottom.</p> <p>If $2t_w d \leq bt$, then</p> $Z_x = \frac{t^2 b}{4} + t_w d\left(t + d - \frac{t_w d}{b}\right)$ <p>Neutral axis x is located a distance $t_w d/b + t/2$ from the top.</p> $SF_x = \frac{Z_x(d + t - y_c)}{I_x}$ $Z_y = \frac{b^2 t}{4} + t_w d(b - t_w)$ $SF_y = \frac{Z_y b}{2I_y}$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Form of section	Area and distances from centroid to extremities	Moments and products of inertia and radii of gyration about central axes	Plastic section moduli, shape factors, and locations of plastic neutral axes
<p>6. Wide-flange beam with equal flanges</p> 	$A = 2bt + t_w d$ $y_c = \frac{d}{2} + t$ $x_c = \frac{b}{2}$	$I_x = \frac{b(d+2t)^3}{12} - \frac{(b-t_w)d^3}{12}$ $I_y = \frac{b^3 t}{6} + \frac{t_w^3 d}{12}$ $r_x = \left(\frac{I_x}{A} \right)^{1/2}$ $r_y = \left(\frac{I_y}{A} \right)^{1/2}$	$Z_x = \frac{t_w d^2}{4} + bt(d+t)$ $SF_x = \frac{Z_x y_c}{I_x}$ $Z_y = \frac{b^2 t}{2} + \frac{t_w^2 d}{4}$ $SF_y = \frac{Z_y x_c}{I_y}$
<p>7. Equal-legged angle</p> 	$A = t(2a - t)$ $y_{c1} = \frac{0.7071(a^2 + at - t^2)}{2a - t}$ $y_{c2} = \frac{0.7071a^2}{2a - t}$ $x_c = 0.7071a$	$I_x = \frac{a^4 - b^4}{12} - \frac{0.5ta^2b^2}{a+b}$ $I_y = \frac{a^4 - b^4}{12} \quad \text{where } b = a - t$ $r_x = \left(\frac{I_x}{A} \right)^{1/2}$ $r_y = \left(\frac{I_y}{A} \right)^{1/2}$	<p>Let y_p be the vertical distance from the top corner to the plastic neutral axis. If $t/a \geq 0.40$, then</p> $y_p = a \left[\frac{t}{a} - \frac{(t/a)^2}{2} \right]^{1/2}$ $Z_x = A(y_{c1} - 0.6667y_p)$ <p>If $t/a \leq 0.4$, then</p> $y_p = 0.3536(a + 1.5t)$ $Z_x = Ay_{c1} - 2.8284y_p^2 t + 1.8856t^3$
<p>8. Unequal-legged angle</p> 	$A = t(b + d - t)$ $x_c = \frac{b^2 + dt - t^2}{2(b + d - t)}$ $y_c = \frac{d^2 + bt - t^2}{2(b + d - t)}$	$I_x = \frac{1}{3}[bd^3 - (b-t)(d-t)^3] - A(d-y_c)^2$ $I_y = \frac{1}{3}[db^3 - (d-t)(b-t)^3] - A(b-x_c)^2$ $I_{xy} = \frac{1}{4}[b^2 d^2 - (b-t)^2 (d-t)^2] - A(b-x_c)(d-y_c)$ $r_x = \left(\frac{I_x}{A} \right)^{1/2}$ $r_y = \left(\frac{I_y}{A} \right)^{1/2}$	

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

<p>16. Hollow circle</p> 	$A = \pi(R^2 - R_i^2)$ $y_c = R$	$I_x = I_y = \frac{\pi}{4}(R^4 - R_i^4)$ $r_x = r_y = \frac{1}{2}\sqrt{R^2 + R_i^2}$	$Z_x = Z_y = 1.333(R^3 - R_i^3)$ $SF_x = 1.698 \frac{R^4 - R_i^3 R}{R^4 - R_i^4}$
<p>17. Very thin annulus</p> 	$A = 2\pi R t$ $y_c = R$	$I_x = I_y = \pi R^3 t$ $r_x = r_y = 0.707 R$	$Z_x = Z_y = 4R^2 t$ $SF_x = SF_y = \frac{4}{\pi}$
<p>15. Solid circle</p> 	$A = \pi R^2$ $y_c = R$	$I_x = I_y = \frac{\pi}{4} R^4$ $r_x = r_y = \frac{R}{2}$	$Z_x = Z_y = 1.333 R^3$ $SF_x = 1.698$

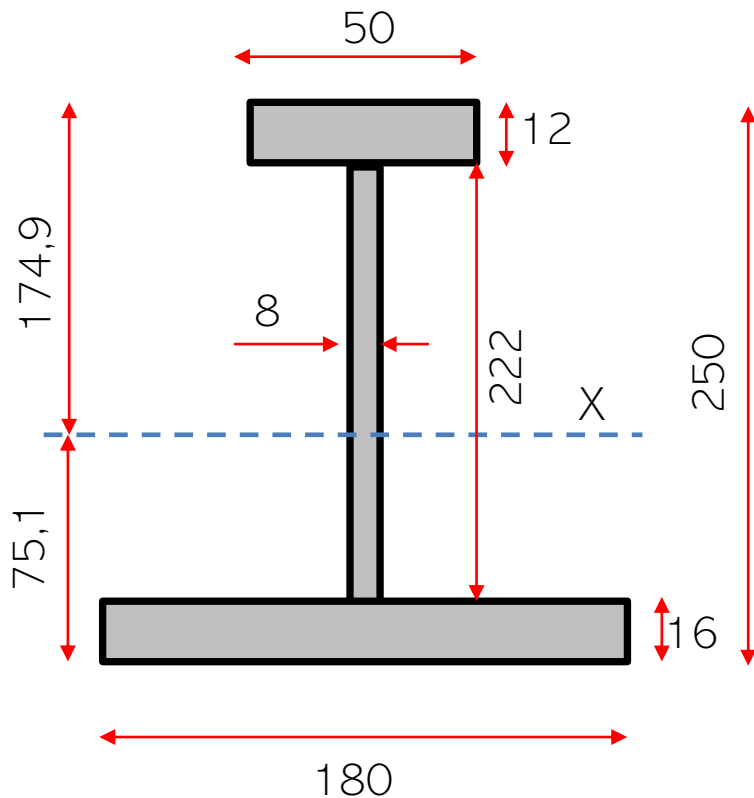
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

- Teorema de Steiner (ou teorema dos eixos paralelos)

$$I_x = \sum I_n + A \cdot d_y^2$$

$$I_y = \sum I_n + A \cdot d_x^2$$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

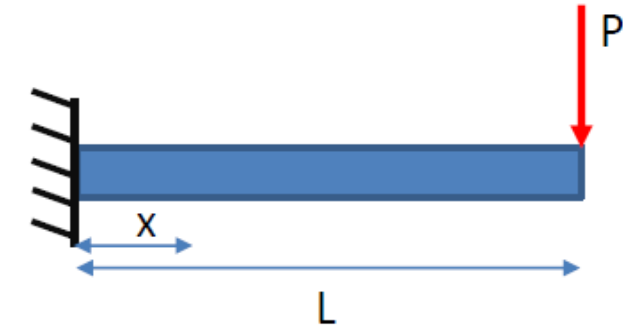


$$I_x = \left(\frac{5 \cdot 12^3}{12} + 5 \cdot 12 \cdot (17,49 - 0,6)^2 \right) + \left(\frac{0,8 \cdot 222^3}{12} + 0,8 \cdot 222 \cdot \left[\frac{22,2}{2} + 1,6 - 7,51 \right]^2 \right) + \left(\frac{18 \cdot 16^3}{12} + 18 \cdot 16 \cdot [7,51 - 0,8]^2 \right)$$

$$I_x = 1712,35 + 1208,22 + 1302,83 = 4223,40 \text{ cm}^4$$

Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra em Balanço – Carga Pontual na extremidade



Deflexão

$$y(x) = -\frac{P \cdot x^2}{6EI} (3 \cdot L - x)$$

$$y_{max} = -\frac{P \cdot L^3}{3EI}$$



Esforço Cortante

$$V(x) = P$$



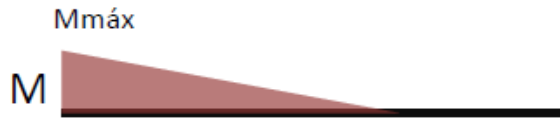
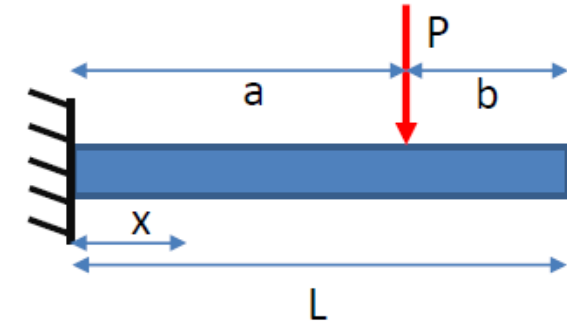
Momento Fletor

$$M(x) = P \cdot (L - x)$$

$$M_{max} = P \cdot L$$

Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra em Balanço – Carga Pontual à distância 'a'



Deflexão

$$y(x) = -\frac{P \cdot x^2}{6EI} (3 \cdot a - x) \quad 0 \leq x \leq a$$

$$y(x) = -\frac{P \cdot a^2}{6EI} (3 \cdot x - a) \quad a \leq x \leq L$$

$$y_{max} = -\frac{P \cdot a^2}{6EI} (3 \cdot L - a)$$

Esforço Cortante

$$V(x) = P \quad 0 \leq x \leq a$$

$$V(x) = 0 \quad a \leq x \leq L$$

Momento Fletor

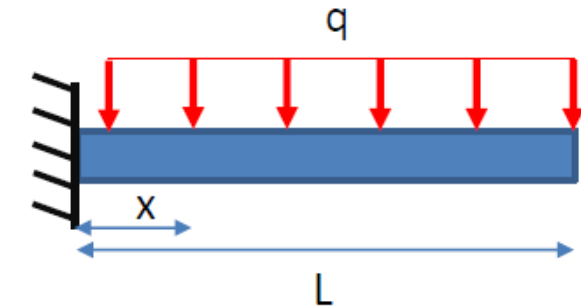
$$M(x) = P \cdot (a - x) \quad 0 \leq x \leq a$$

$$M_{max} = P \cdot a$$

$$M(x) = 0 \quad a \leq x \leq L$$

Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra em Balanço – Carga Uniformemente Distribuída



Deflexão

$$y(x) = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} (6 \cdot L^2 - 4Lx + x^2) \quad 0 \leq x \leq L$$

$$y_{max} = -\frac{q \cdot L^4}{8EI}$$

Esforço Cortante

$$V(x) = q \cdot (L - x) \quad 0 \leq x \leq L$$

$$V_{max} = q \cdot L$$

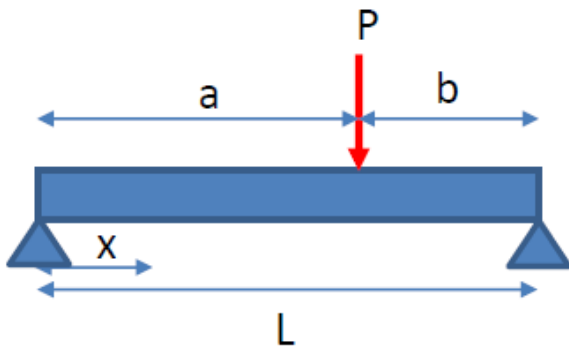
Momento Fletor

$$M(x) = \frac{q \cdot (L - x)^2}{2} \quad 0 \leq x \leq L$$

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

Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra bi-apoiada – Carga pontual à distância 'a'



Deflexão

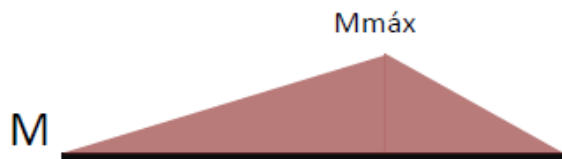
$$y(x) = -\frac{P \cdot b \cdot x}{6 \cdot L \cdot E \cdot I} (L^2 - b^2 - x^2) \quad \text{para } a > b$$

$$y_{max} = -\frac{P \cdot b \cdot \sqrt{(L^2 - b^2)^3}}{9\sqrt{3} \cdot L \cdot E \cdot I} \quad x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$$



Esforço Cortante

$$V_1 = \frac{P \cdot b}{L} \quad V_2 = \frac{P \cdot a}{L}$$

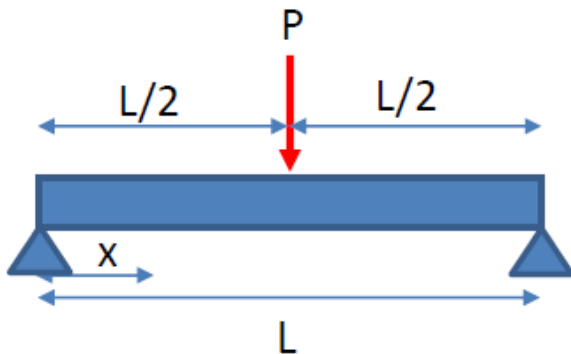


Momento Fletor

$$M_{max} = \frac{P \cdot a \cdot b}{L}$$

Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra Bi-Apoiada – Carga pontual no centro



Deflexão

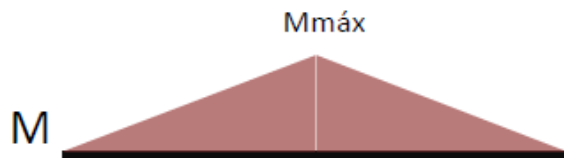
$$y(x) = -\frac{P.L}{48.E.I} (3L^2 - 4x^2) \quad \text{para } x < L/2$$

$$y_{max} = -\frac{P.L^3}{48.E.I} \quad x = \frac{L}{2}$$



Esforço Cortante

$$V_1 = -V_2 = P/2$$

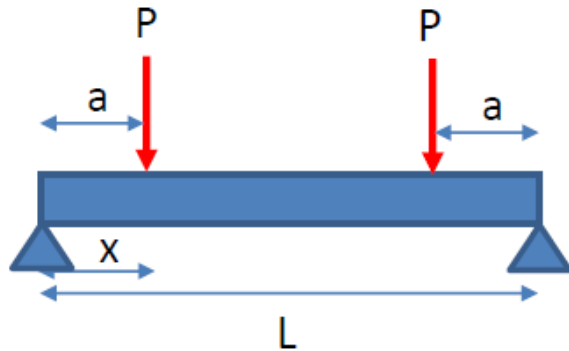


Momento Fletor

$$M_{max} = \frac{P.L}{4}$$

Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra bi-apoiada – Cargas pontuais simétricas em relação ao centro



Deflexão

$$y(x) = -\frac{P \cdot x}{6 \cdot E \cdot I} (3 \cdot a \cdot L - 3a^2 - x^2) \quad \text{para } x < a$$

$$y(x) = -\frac{P \cdot a}{6 \cdot E \cdot I} (3 \cdot x \cdot L - 3x^2 - a^2) \quad \text{para } x \text{ entre } a \text{ e } L - a$$

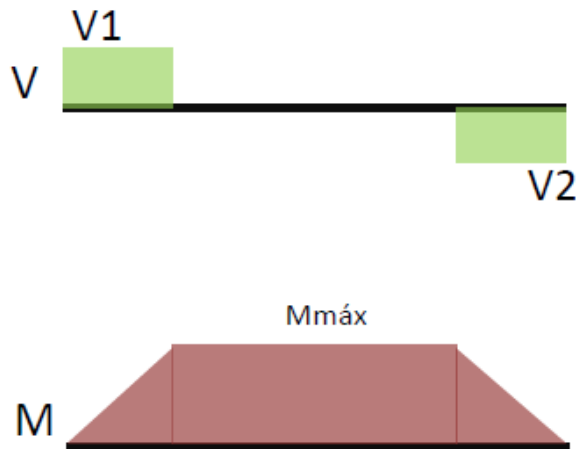
$$y_{max} = -\frac{P \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} (3 \cdot L^2 - 4a^2) \quad x = \frac{L}{2}$$

Esforço Cortante

$$V_1 = -V_2 = P$$

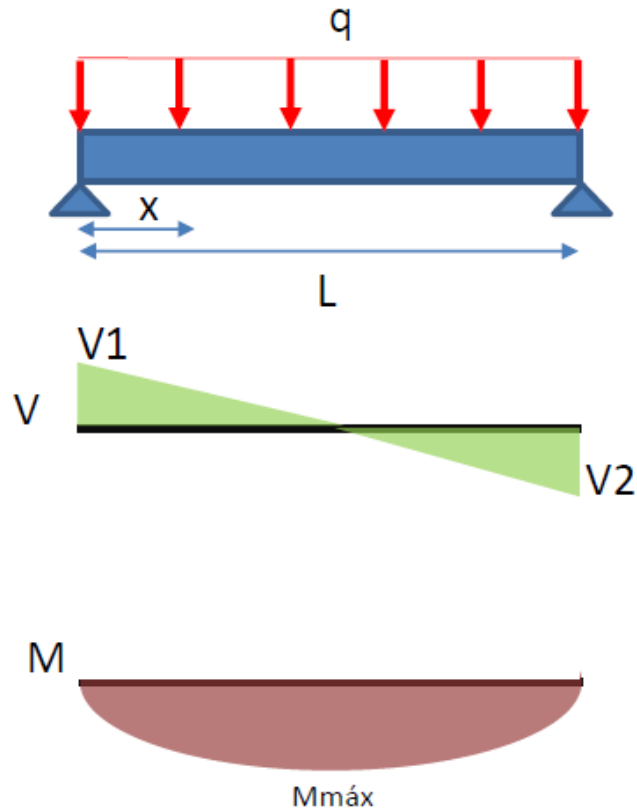
Momento Fletor

$$M_{max} = P \cdot a$$



Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra bi-apoiada— Carga Uniformemente Distribuída



Deflexão

$$y(x) = -\frac{q \cdot x}{24EI} (L^3 - 2Lx^2 + x^3) \quad 0 \leq x \leq L$$

$$y_{max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384EI} \quad x = \frac{L}{2}$$

Esforço Cortante

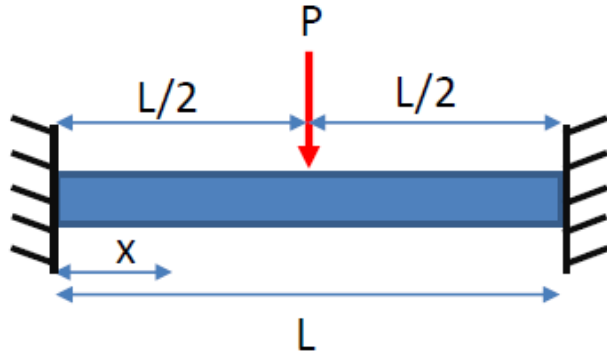
$$V_1 = -V_2 = q \cdot \frac{L}{2}$$

Momento Fletor

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra bi-engastada – Carga Pontual no centro



Deflexão

$$y(x) = -\frac{P \cdot x^2}{48 \cdot E \cdot I} (3L - 4x) \quad \text{para } x < L/2$$

$$y_{max} = -\frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} \quad x = \frac{L}{2}$$



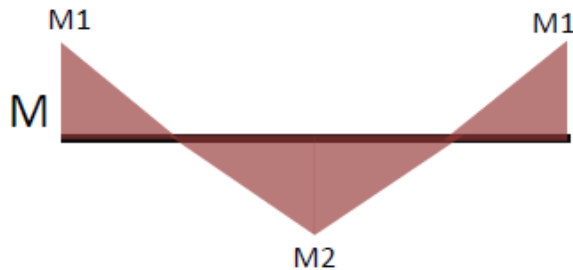
Esforço Cortante

$$V_1 = -V_2 = P/2$$

Momento Fletor

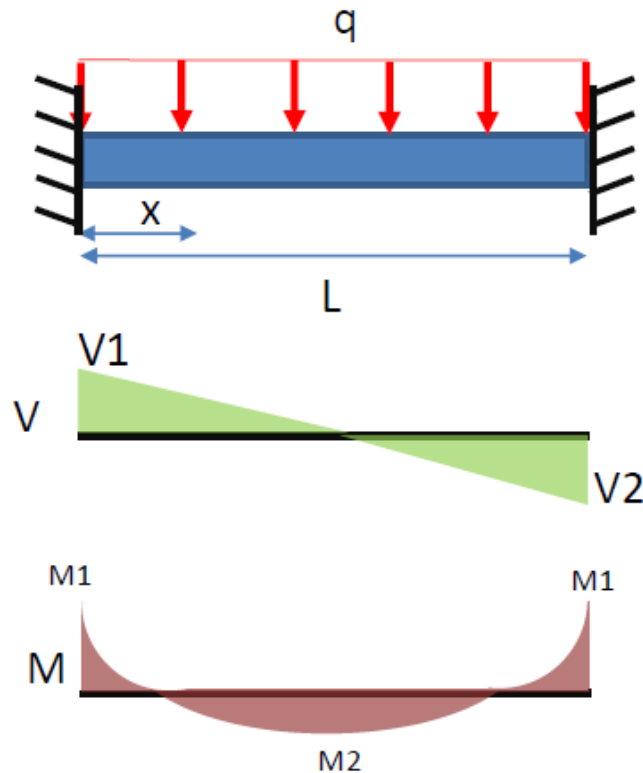
$$M(x) = \frac{P \cdot (4x - L)}{8}$$

$$M_1 = -M_2 = \frac{P \cdot L}{8}$$



Equações de deflexão, Momento e Cortante

Barra bi-apoiada – Carga Uniformemente Distribuída



Deflexão

$$y(x) = -\frac{q \cdot x^2}{24EI} (L - x)^2 \quad 0 \leq x \leq L$$

$$y_{max} = \frac{q \cdot L^4}{384EI} \quad x = \frac{L}{2}$$

Esforço Cortante

$$V_1 = -V_2 = q \cdot \frac{L}{2}$$

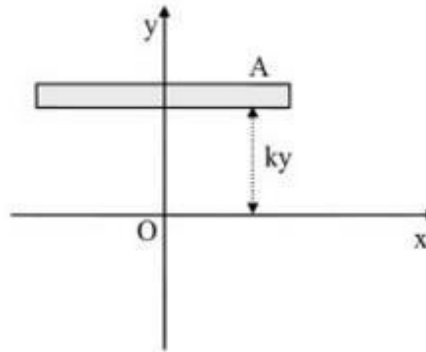
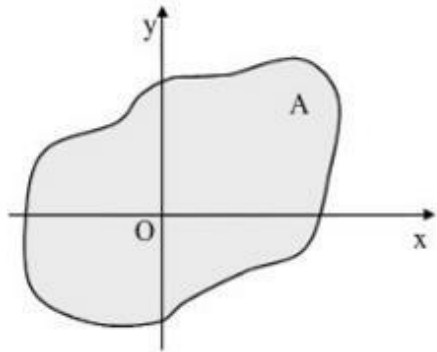
Momento Fletor

$$M(x) = q \cdot \frac{6Lx - 6x^2 - L^2}{12}$$

$$M_{max} = M_1 = \frac{q \cdot L^2}{12} \quad M_2 = \frac{q \cdot L^2}{24}$$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Raio de Giração r_x e r_y



$$I_x = k_x^2 \cdot A \quad \therefore \quad k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad \text{analogamente} \quad k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad e \quad k_o = \sqrt{\frac{J_o}{A}} \quad (\text{polar})$$

$$\text{Como } J_o = I_x + I_y \quad \text{temos} \quad k_o^2 = k_x^2 + k_y^2$$

Imagem por: <http://www.gdace.uem.br/rome/MDidatico/Estatica/JoaoDirceu/>

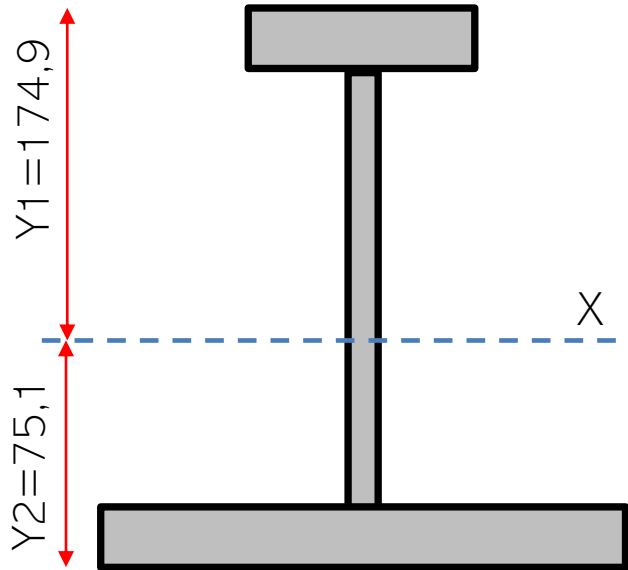
IMPORTANTE NOS ESTUDOS DE PEÇAS COMPRIMIDAS

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas – Eng. Felipe Jacob

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS: Módulo resistente Elástico W_x e W_y

$$W_s = \frac{I}{y_1} = \frac{4223,40}{17,49} = 241,47 \text{ cm}^3$$

$$W_i = \frac{I}{y_2} \rightarrow \frac{4223,40}{7,51} = 562,37$$

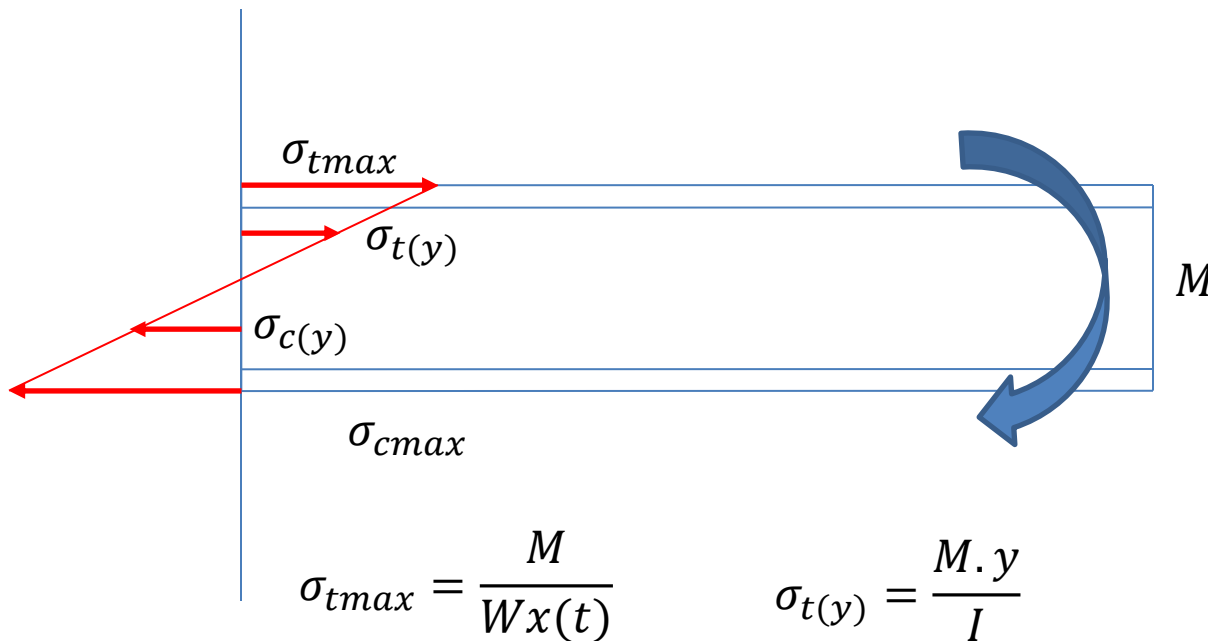


USADO NO CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DOS PERFIS AO MOMENTO FLETOR

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas – Eng. Felipe Jacob

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Elástico W_x e W_y



$$\sigma_{tmax} = \frac{M}{W_x(t)}$$

$$\sigma_{t(y)} = \frac{M \cdot y}{I}$$

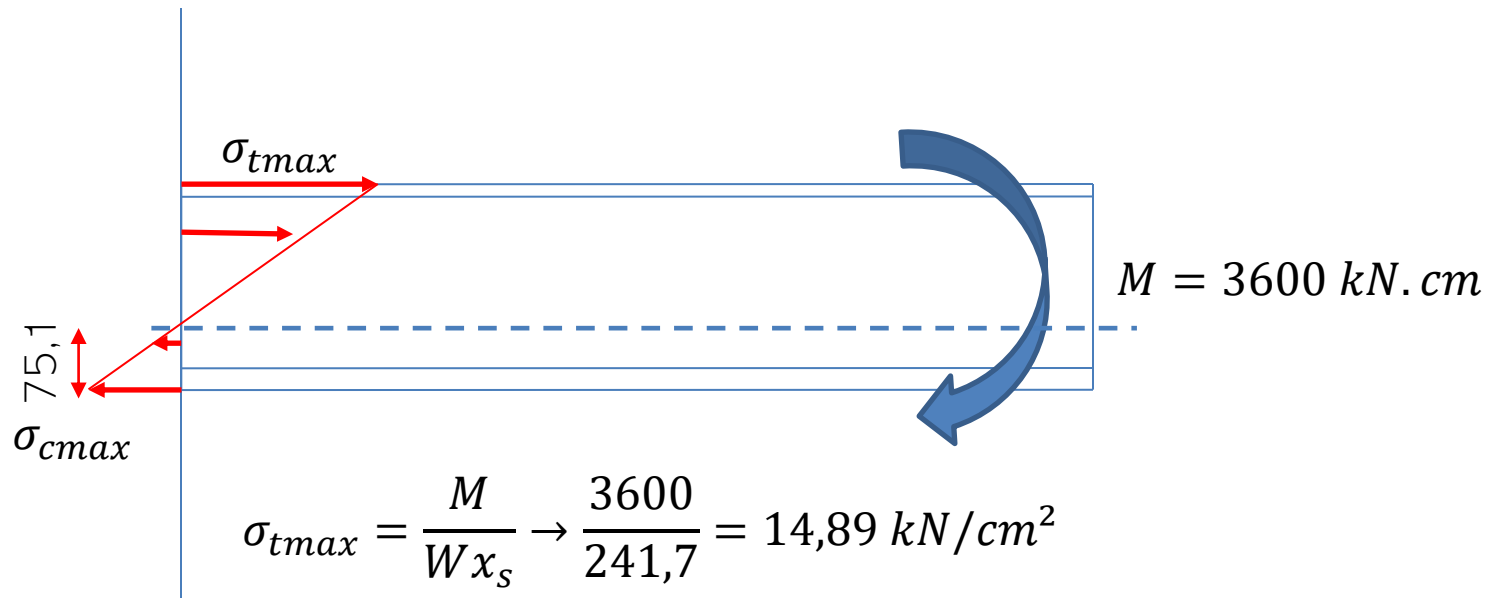
$$\sigma_{cmax} = \frac{M}{W_x(c)}$$

Disso se extrai a equação básica do Momento Resistente:

$$M_{Rd} = W \cdot F_y$$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Exemplo: Qual a força de tração e compressão a serem utilizada no dimensionamento da solda na mesa superior do perfil assimétrico

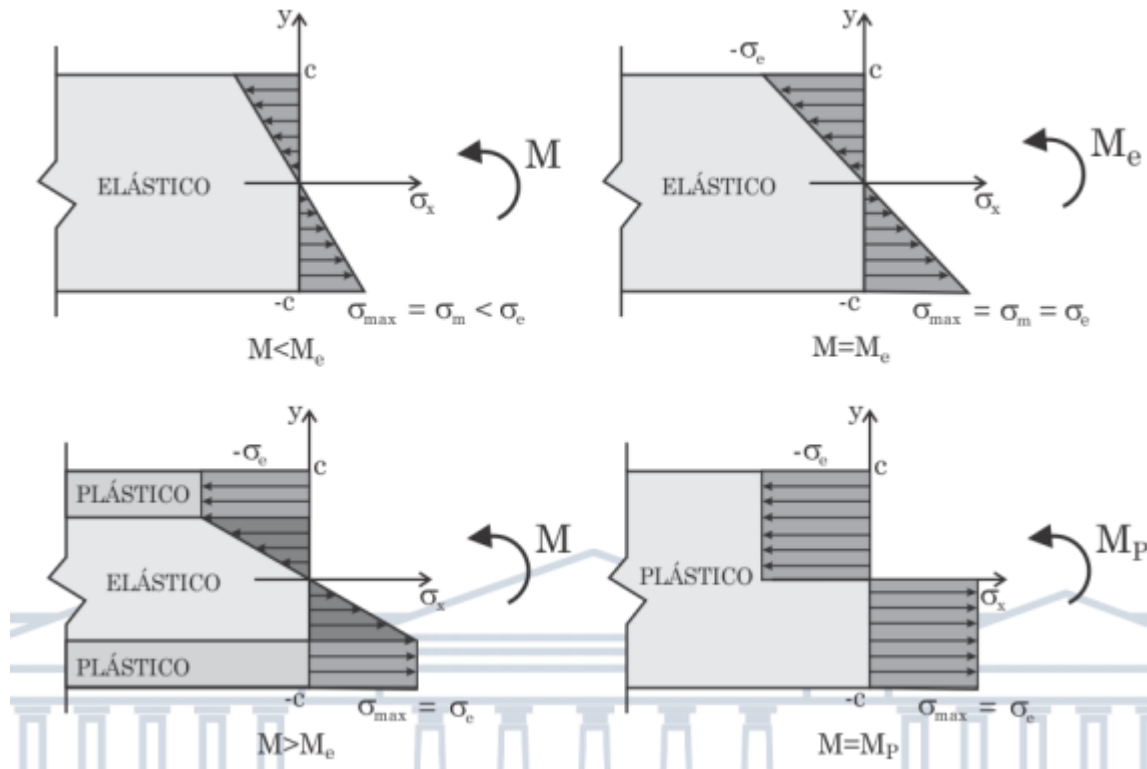


$$\sigma_{tmax} = \frac{M}{Wx_s} \rightarrow \frac{3600}{241,7} = 14,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{cmax} = \frac{M}{Wx(c)} \rightarrow \frac{3600}{562,37} = 6,40 \text{ kN/cm}^2$$

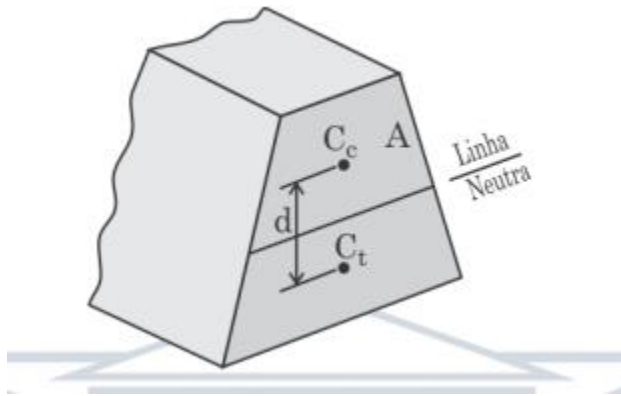
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Plástico Z_x e Z_y



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Plástico Z_x e Z_y



$$Z = \frac{1}{2} \cdot A \cdot d$$

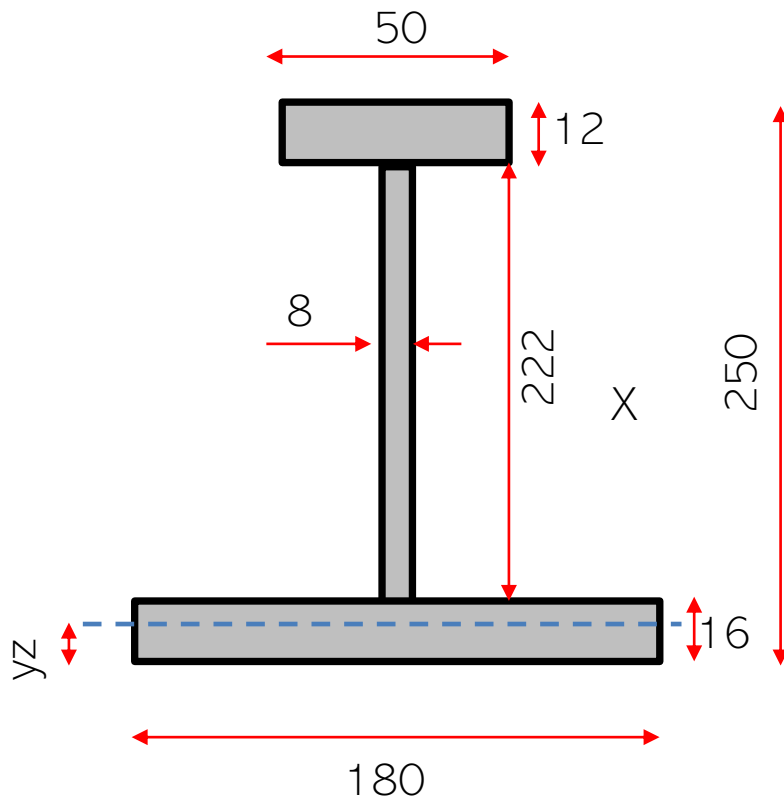
$$\text{Fator de forma } k = \frac{Z}{W} \rightarrow W250X17,9: k = \frac{211}{182,6} = 1,156$$

Esse número indica que a viga pode suportar um momento fletor 15,6% maior do que o que gera apenas tensões dentro dos limites de escoamento

Após esse valor a seção se plastifica completamente.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Plástico Z_x e Z_y



$$A_s = A_i = \frac{A}{2} = \frac{52,56}{2} = 26,28 \text{ cm}^2$$

$$A_i = y_z \cdot 18 \rightarrow y_z = \frac{26,28}{18} = 1,46 \text{ cm}$$

$$y_{gs} = \frac{(5 \cdot 1,2) \cdot (25 - 0,6) + (22,2 \cdot 0,8) \cdot \left(\frac{22,2}{2} + 0,14\right) + (18 \cdot 0,14) \cdot \left(\frac{0,14}{2}\right)}{26,28}$$

$$y_{gs} = 12,84 \text{ cm}$$

$$y_{gi} = \frac{1,46}{2} = 0,73 \rightarrow d = 12,84 + 0,73 = 13,57 \text{ cm}$$

$$Z_x = \frac{1}{2} \cdot 52,56 \cdot 13,57 = 356,61 \text{ cm}^3$$