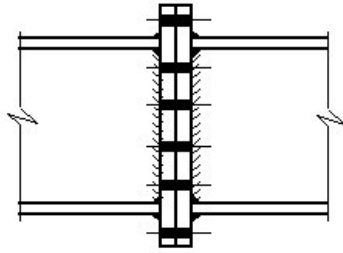
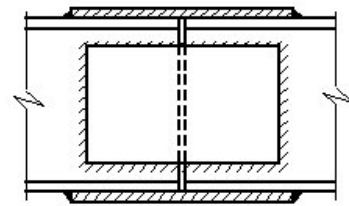


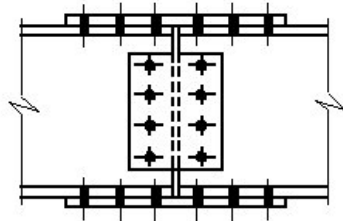
## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES



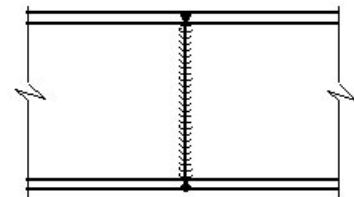
(a) End plated



(c) Fully welded one sided cover plates



(b) Bolted cover plates

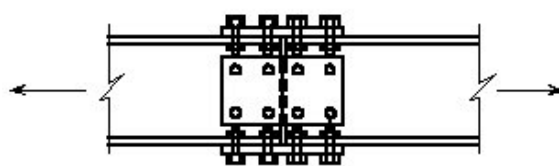


(d) Fully butt welded

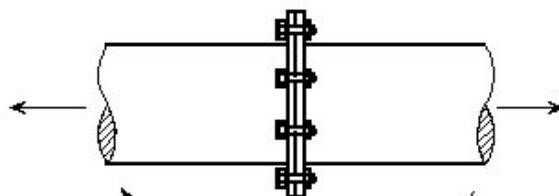
✓ Ligações aparafusadas

✓ Ligações soldadas

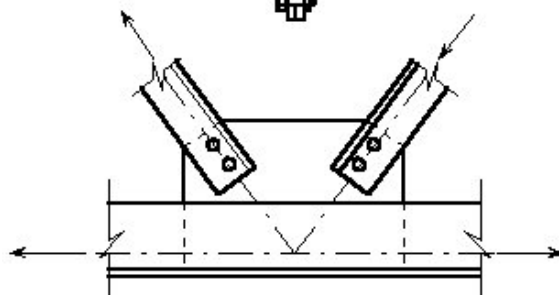
## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES



(c) Bolted cover plate



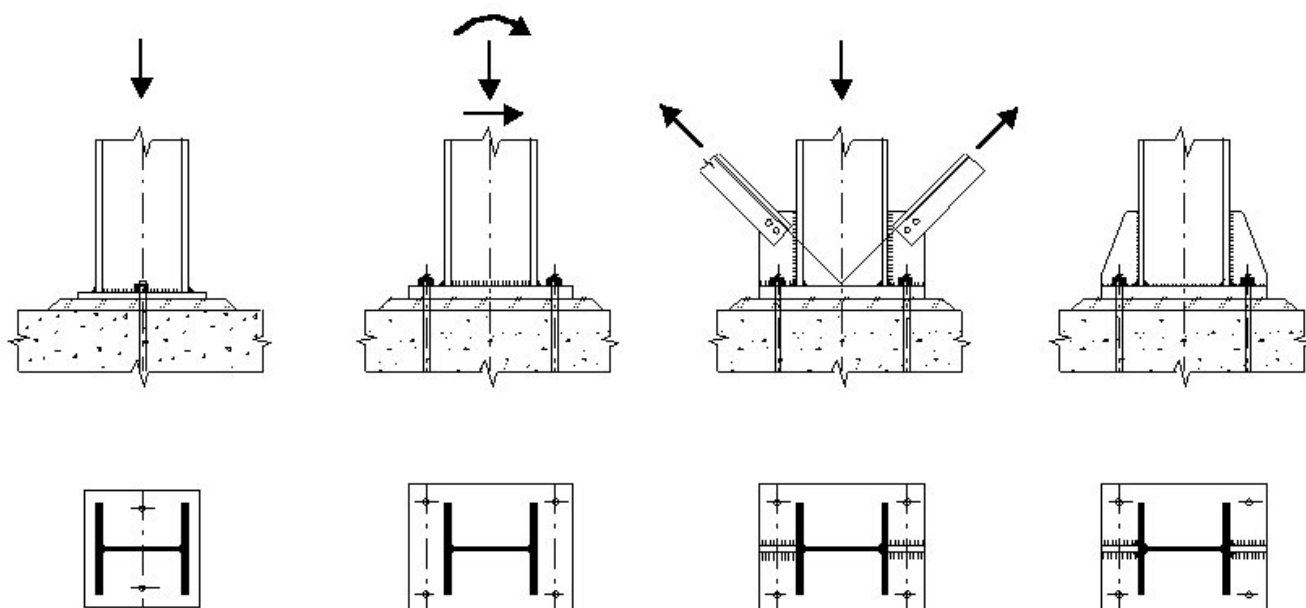
(d) Bolted flange joint for use with tubular construction



(e) Truss connection

✓ Ligações aparafusadas

## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES



✓ Bases de colunas

## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

### Tipos de cordões de soldaduras e factores de custo

Detalhe de soldadura			
<b>Tipo</b>	Soldadura de ângulo	Soldura com penetração parcial ou total	
<b>Factor de custo</b>	1x	4x	6x

## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

### Resistência de cálculo de soldaduras

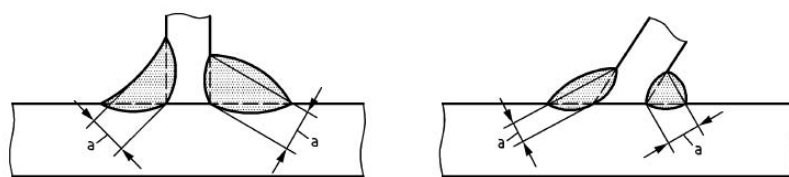
- **Espessura efectiva do cordão de soldadura ( $a$ )** – Altura do maior triângulo inscrito nas faces de um cordão de soldadura

$$a \geq 3 \text{ mm}$$

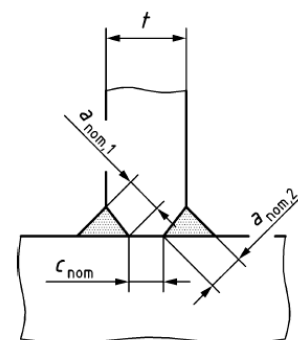
- **Comprimento efectivo ( $\ell_{w,eff}$ )** – Comprimento em que a soldadura possui a espessura de cálculo; pode ser considerado como o comprimento total reduzido em  $2a$ . (**Nota:** Pode ser dispensada qualquer redução do comprimento total de soldadura se esta tiver a espessura de cálculo ao longo de todo o comprimento, incluindo no início e no final do cordão).

$$\ell_{w,eff} \geq \max \{ 30 \text{ mm} ; 6a \}$$

- A Resistência de cálculo de um cordão de ângulo pode ser avaliada pelo **Método direccional** ou pelo **Método simplificado**.



Geometria dos cordões de ângulo e espessuras



Espessuras de cordões com penetração parcial

## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

### Método simplificado (para obter a resistência de cálculo da soldadura)

Critério: A resultante de todas as forças transmitidas ao cordão de soldadura ( $F_{w,Ed}$ ) deve satisfazer a condição

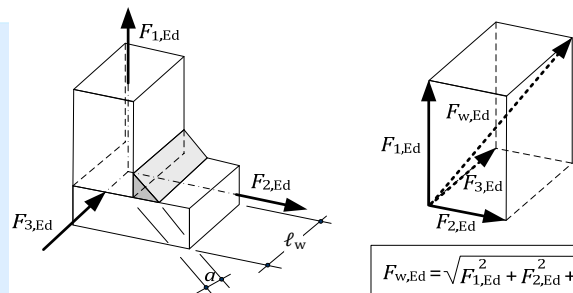
$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \cdot a \cdot \ell_{w,eff}$$

com:

$f_u$  – Resistência última nominal do aço da peça de menor resistência na ligação soldada;

$\beta_w$  – Factor de correlação

	S 235	S 275	S 355	S 420	S 460
→	0,8	0,85	0,9	1,0	1,0



$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{1,Ed}^2 + F_{2,Ed}^2 + F_{3,Ed}^2}$$

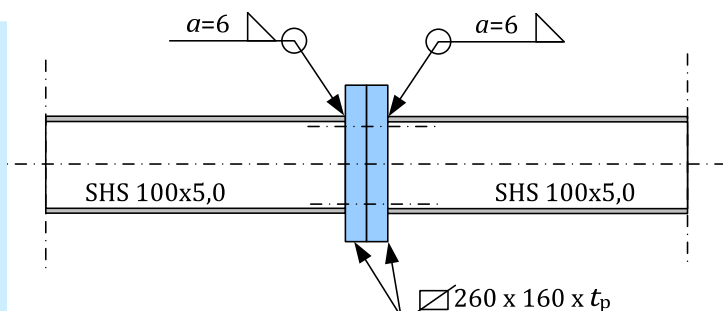
Valores de  $F_{w,Rd}$  (em kN) para  $\ell_w = 100 \text{ mm}$

$a$ [mm]	3	4	5	6	7	8	9	10	12
(S235) $f_u = 360 \text{ MPa}$	62,4	83,1	103,9	124,7	145,5	166,3	187,1	207,8	249,4
(S275) $f_u = 410 \text{ MPa}$	66,8	89,1	111,4	133,7	156,0	178,2	200,5	222,8	267,3
(S355) $f_u = 470 \text{ MPa}$	72,4	96,5	120,6	144,7	168,8	193,0	217,1	241,2	289,4

## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

### Exemplo 1

Tubos SHS com chapas de ligação de topo – Aço S 275



### Dimensionar os cordões de soldadura dos tubos SHS às chapas de topo

Tomando:  $f_u = 410$  MPa,  $\beta_w = 0,85$ ,  $F_{w,Ed} = 514$  kN (utilizando o critério da resistência máxima, considera-se  $F_{w,Ed}$  igual à resistência plástica à tracção do tubo SHS 100x5,0)  
 $l_{w,eff} = 387$  mm (perímetro exterior da secção transversal do tubo SHS 100x5,0)

Espessura mínima do cordão de soldadura de ângulo é obtida por

$$\frac{0,410/\sqrt{3}}{0,85 \times 1,25} \cdot a \cdot 387 \geq 514 \text{ kN} \rightarrow a \geq 6,0 \text{ mm}$$

## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

### Exemplo 2

$V_{Ed} = 350$  kN ;  $M_{Ed} = 12,75$  kNm

Perfis e chapa de gusset – aço S355

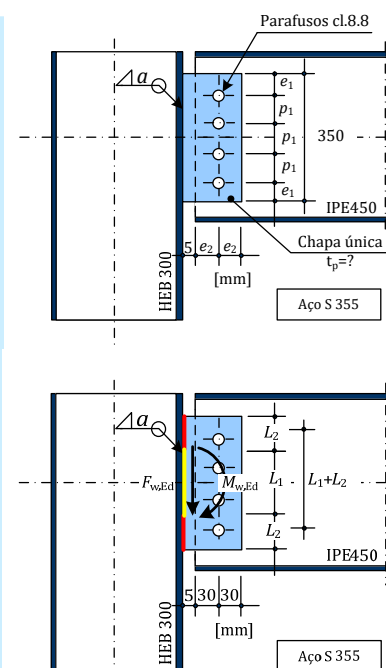
### Dimensionar o cordão de soldadura de ângulo da chapa de gusset na coluna

Tomando  $e_2 = 30$  mm  $\rightarrow F_{w,Ed} = 350$  kN;  $M_{w,Ed} = 12,75 + 350 \times (30 + 5) = 25$  kNm

Considerando o modelo de distribuição plástica de forças em que os comprimentos  $L_1$  e  $L_2$  do cordão de soldadura são dedicados respectivamente ao corte e à flexão (e tomando  $a = 5$  mm), por equilíbrio obtêm-se:

$$(2L_1) \geq \frac{350}{120,6} \times 100 = 290 \text{ mm} \rightarrow L_1 \geq 145 \text{ mm} \rightarrow L_1 = 150 \text{ mm} \checkmark$$

$$L_2 = \frac{350 - L_1}{2} = 100 \text{ mm} \rightarrow \frac{25}{L_1 + L_2} = 100 \text{ kN} \leq \frac{120,6 \times 2L_2}{100} = 241,2 \text{ kN} \checkmark$$



## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

### Exemplo 3

$$V_{Ed} = 520 \text{ kN}$$

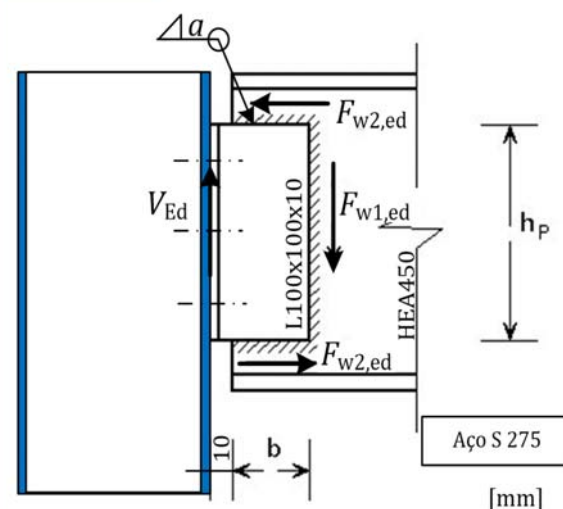
Perfis – aço S275

Dimensionar o **cordão de soldadura de ângulo** na ligação da viga HEA450 à cantoneira L100x10 de ligação

Tomando  $h_p = 375 \text{ mm}$  e considerando o modelo plástico de distribuição de forças com os comprimentos de soldadura  $h_p$  e  $b$ , dedicados exclusivamente ao corte e à flexão, respectivamente (e adoptando  $a = 7 \text{ mm}$ ), por equilíbrio

$$F_{w1,Ed} = V_{Ed} = 520 \text{ kN} < \frac{h_p}{100} \times 156 \text{ kN} = 585 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$F_{w2,Ed} = V_{Ed} \times \frac{100}{h_p} = 139 \text{ kN} < \frac{100 - 10}{100} \times 156 \text{ kN} = 140 \text{ kN} \quad \checkmark$$



## ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

### LIGAÇÕES APARAFUSADAS

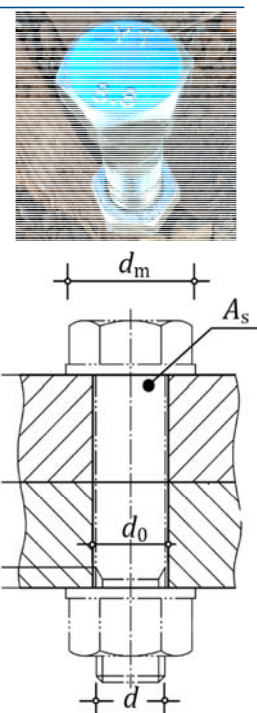
#### Resistência (valores nominais)

Valores nominais da **tensão de cedência** ( $f_{yb}$ ) e da **tensão última** ( $f_{ub}$ )

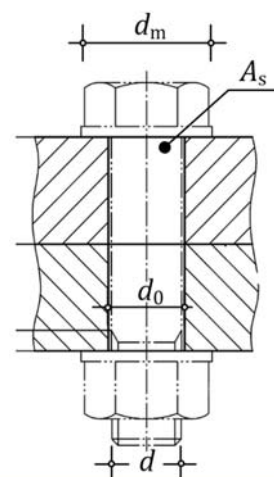
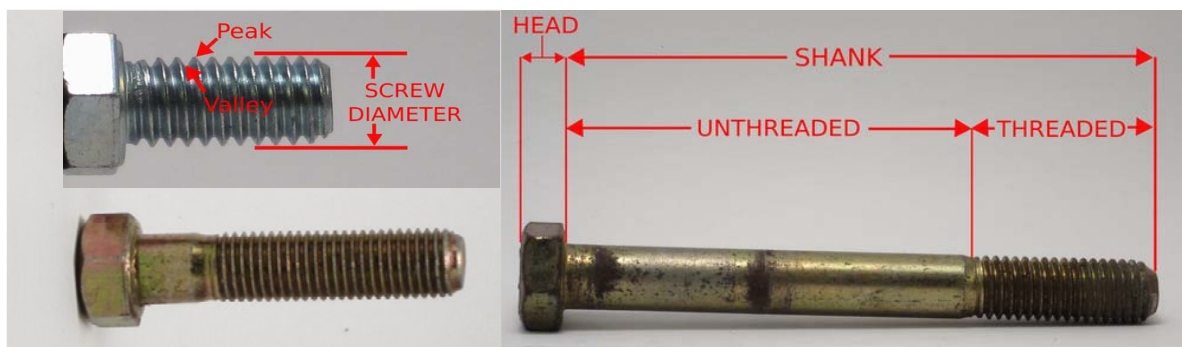
Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (MPa)	400	400	500	500	600	800	1000

**Parafusos pré-esforçados** – Só podem ser usados parafusos das classes 8.8 e 10.9.

	M12	M16	M20	M24	M27	M30
$d$ [mm]	12	16	20	24	27	30
$d_0$ [mm]	13	18	22	26	30	33
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	84,3	157	245	353	459	561
$d_m$ [mm] – correntes	18,5	23,2	29,2	35,0	40,0	45,0
$d_m$ [mm] – pré-esforçados	21,2	27,0	32,0	41,0	46,0	50,0



# ESTRUTURAS DE AÇO – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES



	M12	M16	M20	M24	M27	M30
$d$ [mm]	12	16	20	24	27	30
$d_0$ [mm]	13	18	22	26	30	33
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	84,3	157	245	353	459	561
$d_m$ [mm] – correntes	18,5	23,2	29,2	35,0	40,0	45,0
$d_m$ [mm] – pré-esforçados	21,2	27,0	32,0	41,0	46,0	50,0