

Ligações Soldadas

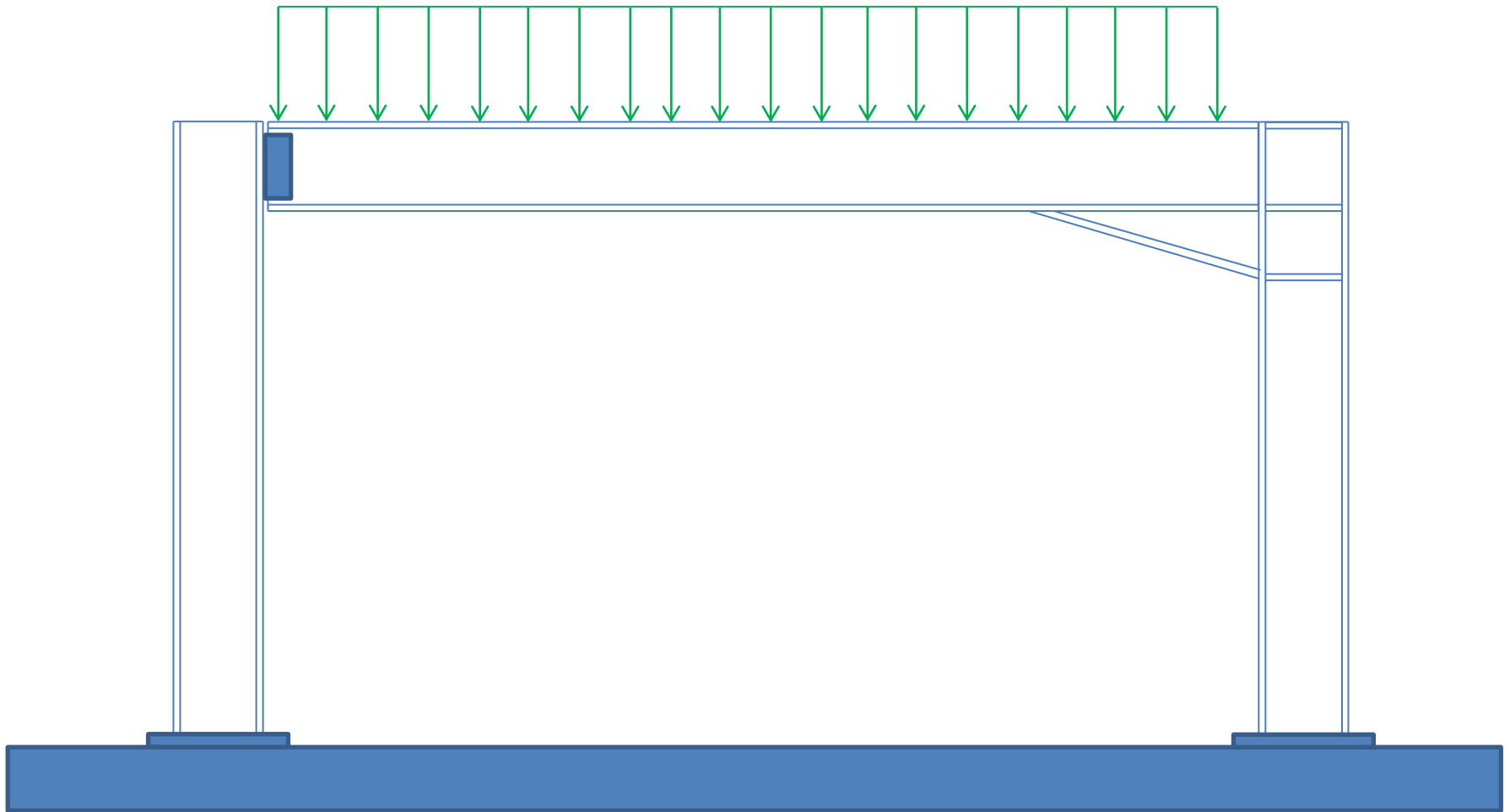
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Ligações Metálicas



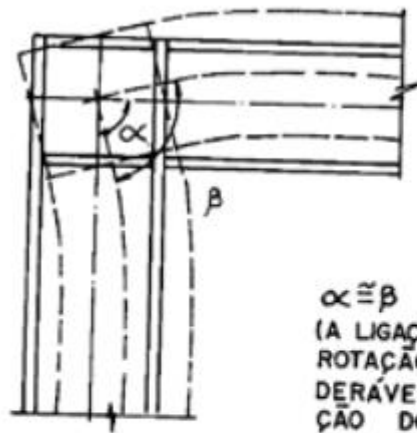
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Rigidez das ligações



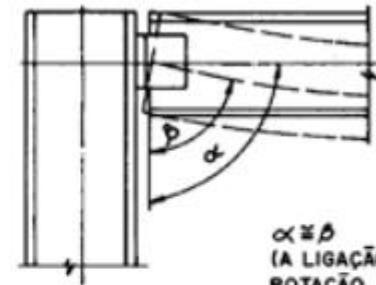
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Rigidez das ligações



$\alpha \cong \beta$
(A LIGAÇÃO NÃO APRESENTA
ROTAÇÃO RELATIVA CONSI-
DERÁVEL APÓS A APLICA-
ÇÃO DO CARREGAMENTO
NA ESTRUTURA).

(a) LIGAÇÃO RÍGIDA



$\alpha \not\cong \beta$
(A LIGAÇÃO APRESENTA
ROTAÇÃO RELATIVA A-
PRECIÁVEL APÓS APLICA-
ÇÃO DO CARREGAMENTO
NA ESTRUTURA).

(b) LIGAÇÃO FLEXÍVEL

Fig. 13- Ligações Rígida e Flexível

Ligações Soldadas

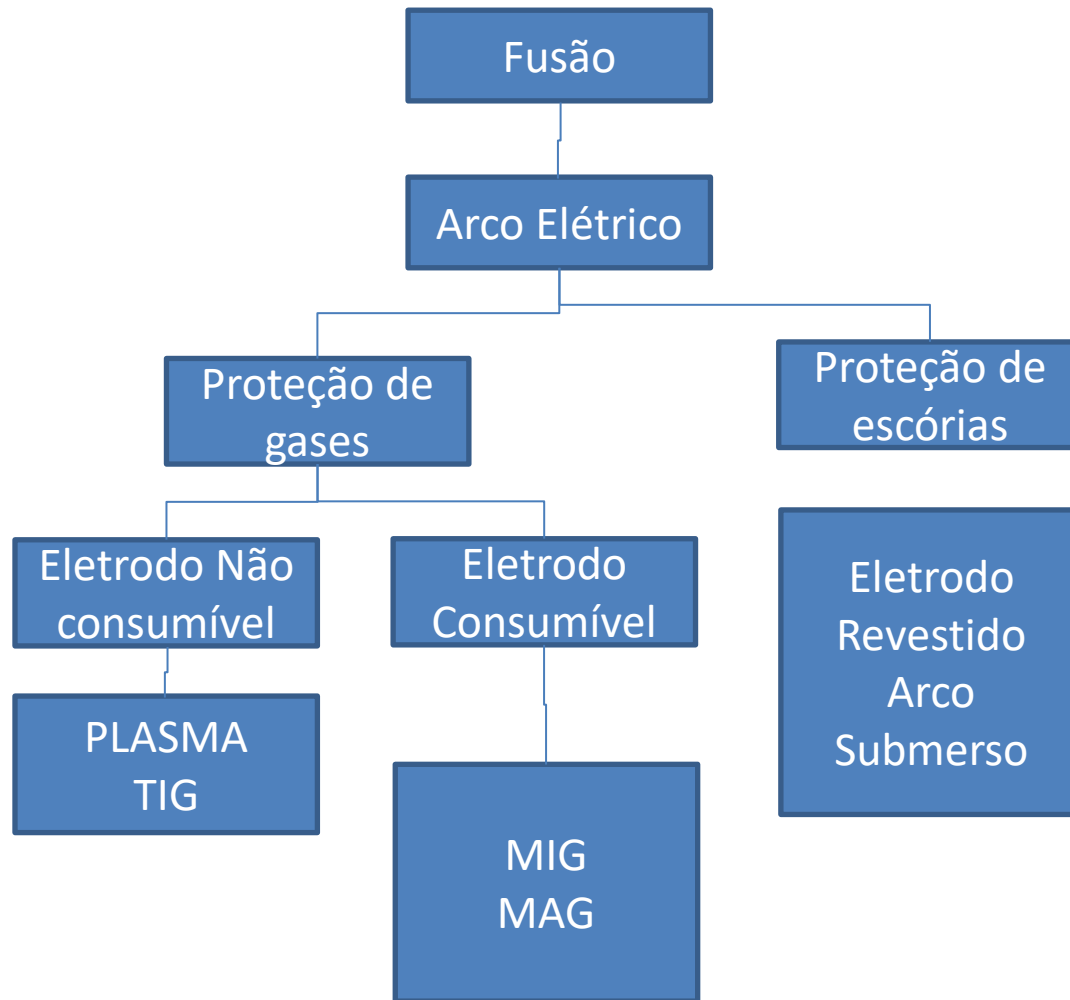


Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

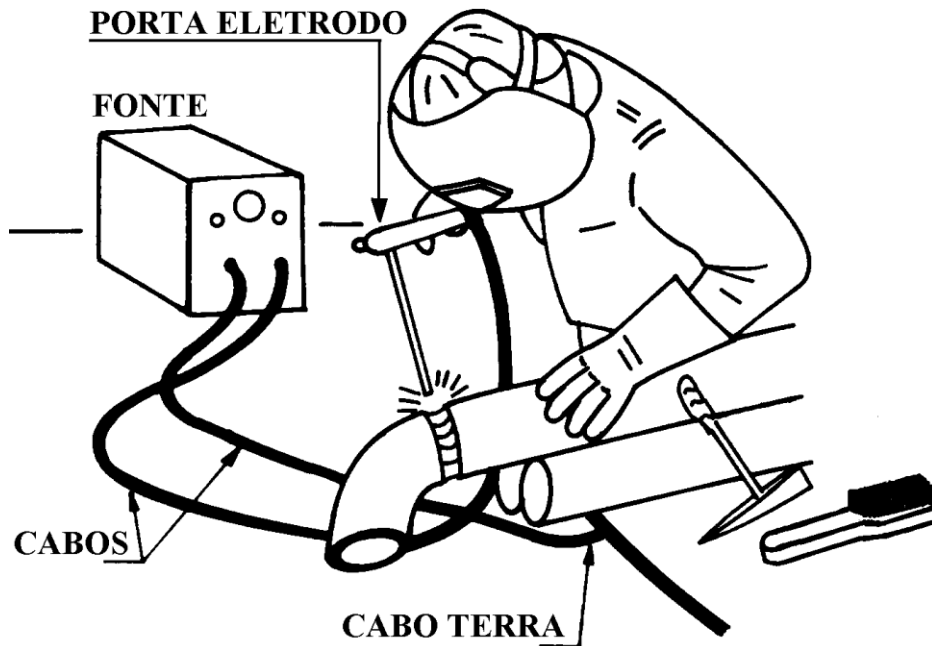
Ligações Soldadas

Soldagem é a união entre duas partes metálicas usando uma **fonte de calor**, com ou sem aplicação de pressão.

Ligações Soldadas



Soldagem por Eletrodo Revestido



SMAW: Shielded Metal Arc Welding



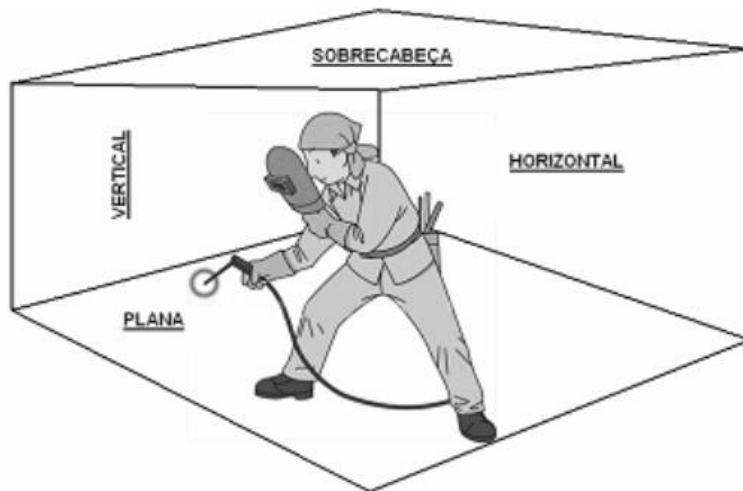
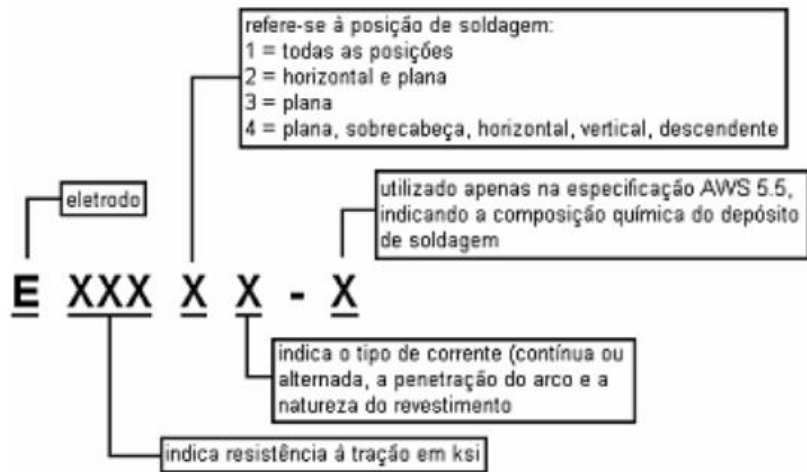


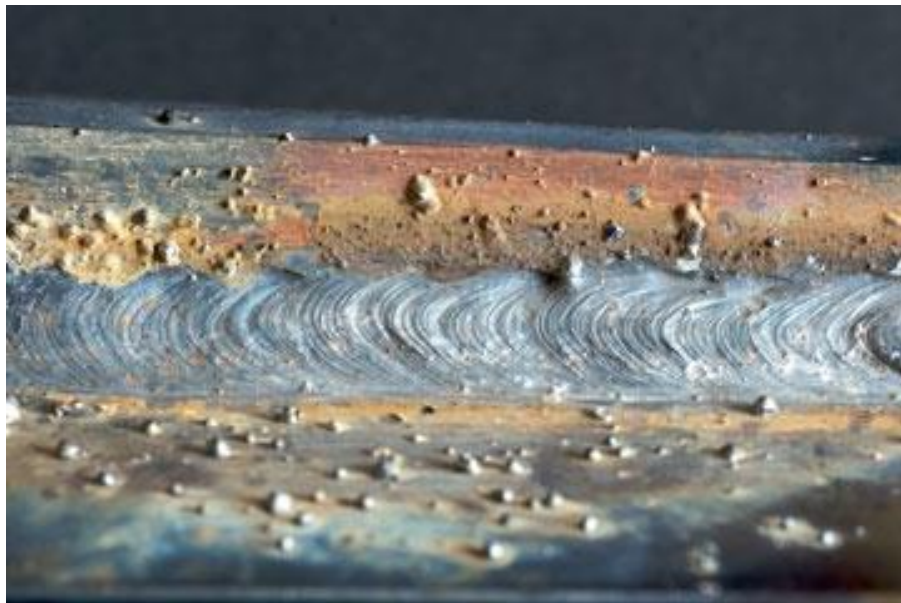
Figura 7 – Posições de soldagem e designação de eletrodos.

E 60 13

- Eletrodo Revestido
- Resistência À ruptura por tração de 60ksi (41,5 kN/cm²)
- Permite soldagem em todas as posições
- Revestimento rutílico com silicato de potássio. Recomendado para chapas finas

E 70 18

- Eletrodo Revestido
- Resistência À ruptura por tração de 70ksi (48,5 kN/cm²)
- Permite soldagem em todas as posições
- Requer maior habilidade, uso onde propriedades mecânicas e qualidade da soldagem sejam essenciais, alta penetração de pó de ferro. Recomendado em estruturas metálicas em geral



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Soldagem por eletrodo protegido por gases

GMAW: GAS Metal Arc Welding



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Soldagem por eletrodo protegido por gases

MIG: METAL INERT GAS

Utiliza-se gases inertes para proteção da soldagem

MAG: METAL ACTIVE GAS

Utiliza-se gases ativos para proteção da soldagem

TIG: Tungsten Inert Gas

Utiliza-se um eletrodo de Tungstênio (não consumível) e um gás inerte na proteção da soldagem, além de um metal de adição

VANTAGENS DO GMAW

Não há formação de escórias

Penetração mais uniforme

Menor distorção e tensões residuais

Mais fácil (treinamento rápido)

Maior Produtividade

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

DESVANTAGENS DO GMAW

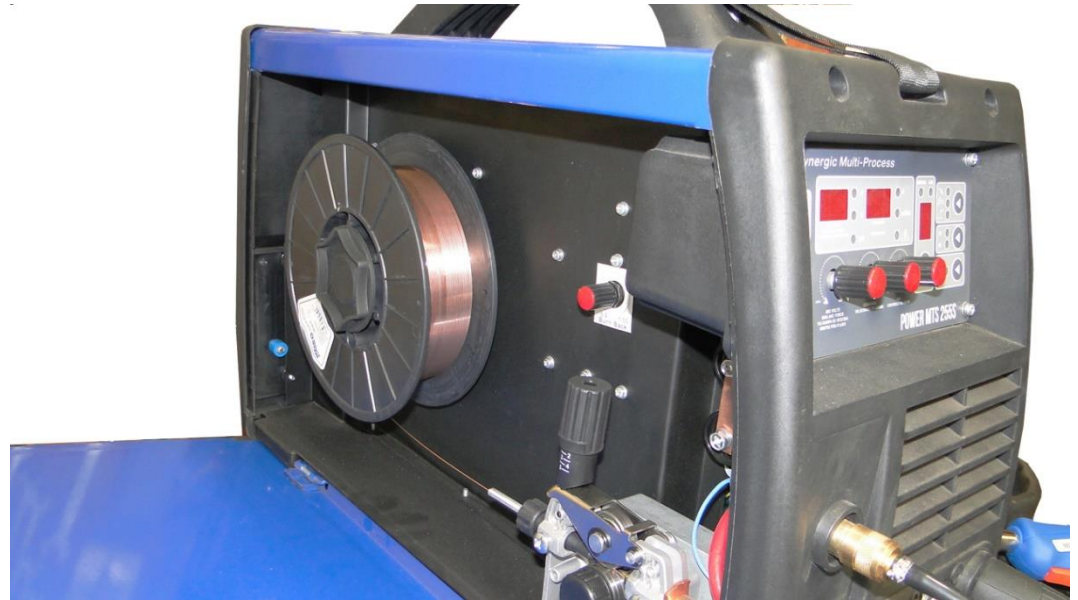
Necessita proteção contra o vento

Não acessa lugares mais estreitos (devido ao bocal do gás)

Equipamento grande

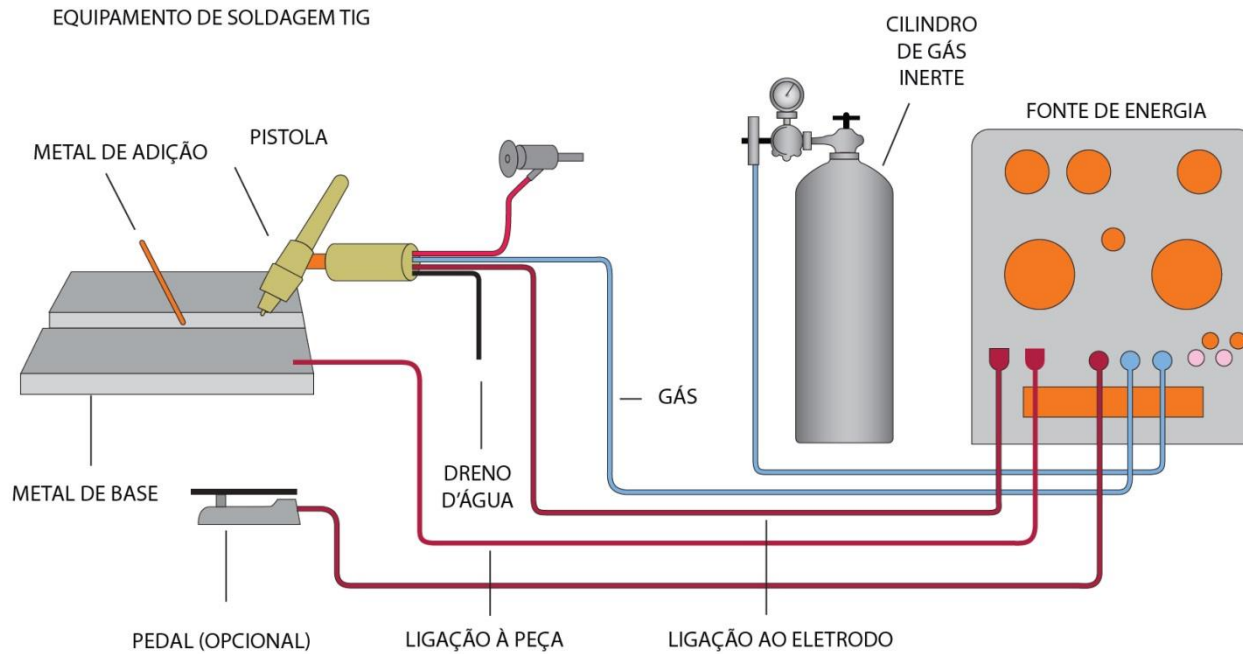
Custo do gás

Equipamento MIG/MAG

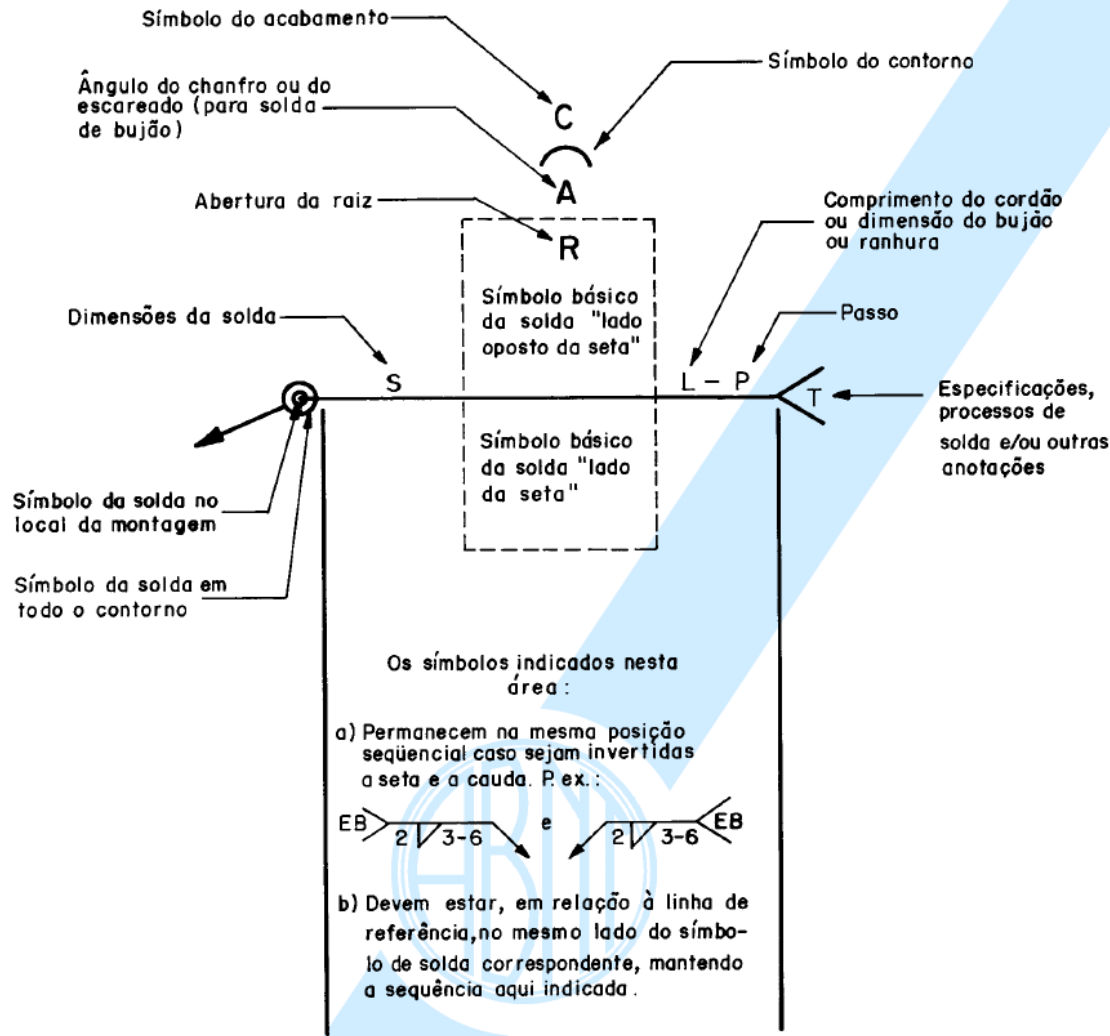


Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Equipamento TIG

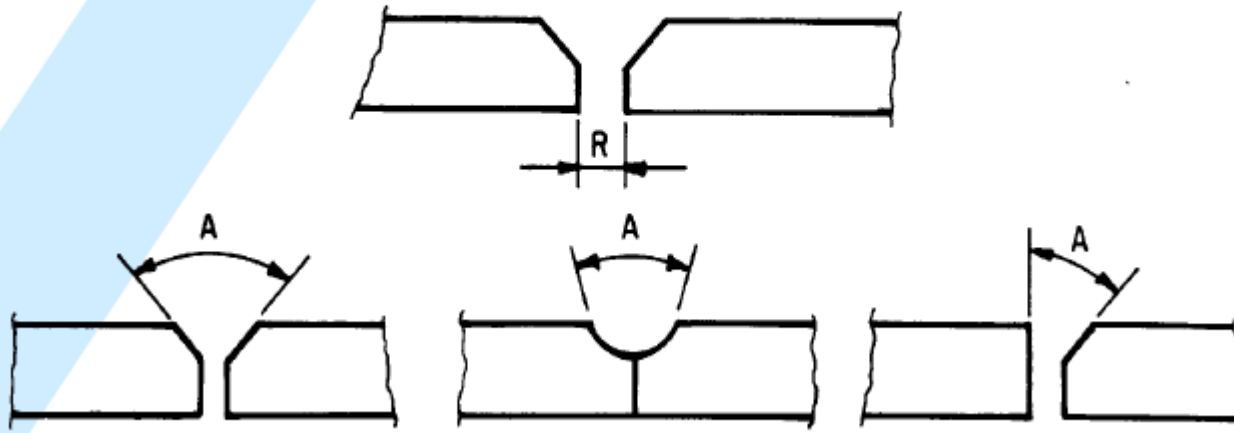


Símbolos de Soldagem



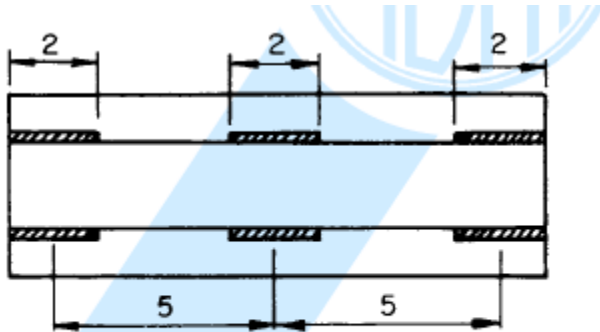
Símbolos de Soldagem

- a) passo - espaçamento centro a centro das soldas, quando descontínuas;
- b) abertura da raiz (R) - distância entre as peças a unir na raiz da junta;
- c) ângulo de chanfro - ângulo formado entre os dois planos das extremidades das peças que formam o sulco para solda.

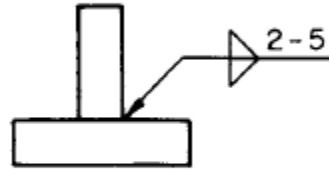


NBR 7165

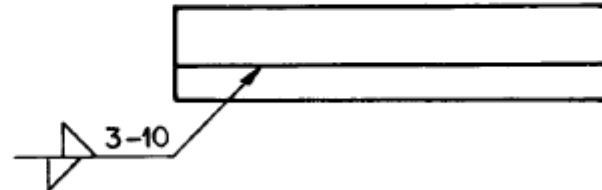
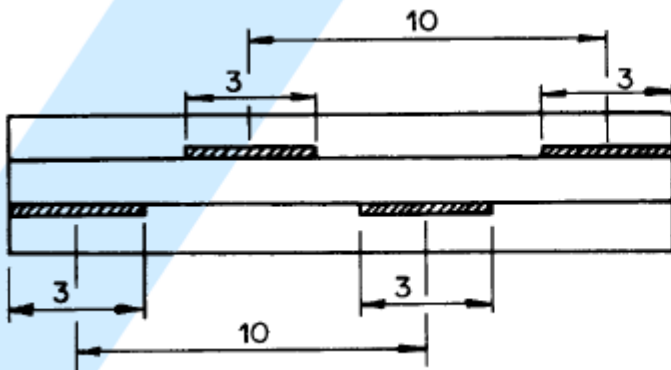
Símbolos de Soldagem



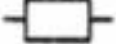
Significado



Representação



Símbolos de Soldagem

Símbolos Básicos de Solda									
Rebordo	Filete	Tampão	Ranhura ou Chanfro					Filetes convexos	
			Reto	V	Meio V	U	J	Duplo	Simples
									
Símbolos Suplementares									
Solda com chapa de base	Afastamento	Toda volta	Solda de campo	Contorno					
				Esmerilhar	Convexa				
									

Símbolos de Soldagem

Significado	Representação 1	Representação 2

		-
		-
		-
		-

Símbolos de Soldagem

		-
		-
		-

		-
		-
		-

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Método de inspeção	Características	Limitações
Visual	O mais comum e mais económico. Particularmente bom para soldas com um único passe.	Detecta somente trincas superficiais grosseiras, excessos e falta de solda e imperfeições.
Líquido penetrante	Utilizado quando a geometria da peça é complexa, dificultando a operação do equipamento de partículas magnéticas. Uso instantâneo em qualquer lugar. Detecta defeitos superficiais como trincas (micro-trincas da ordem de 0,001 mm de largura), fissuras, porosidade, mordeduras.	Detecta somente descontinuidades superficiais. Ondulações de soldas reentrantes e ranhuras podem dar falsas indicações. Exame de custo mais elevado do que o de partículas magnéticas.
Partícula magnética	Detecta defeitos na superfície e sub-superfície como trincas, fissuras, porosidade, mordeduras e sobreposição, descontinuidades lineares da ordem de 0,5mm, além de descontinuidades mascaradas por esmerilhamento, óxidos etc., e as escondidas sob pinturas. É um exame mais rápido e económico do que o anterior. Indicações podem ser coletadas e preservadas em fitas plásticas.	Requer relativa lisura da superfície. Falta de cuidado no uso de pontas magnetizadas podem desprezar defeitos de golpeamento de arco. Necessita que o campo magnético seja gerado perpendicularmente à descontinuidade. Necessita em certos casos de desmagnetização da peça. Limpeza posterior. Depende da força do campo magnético.
Radiográfico	Detecta defeitos internos como porosidade, escória, vazios, fissuras, irregularidades, falta de fusão. Indicado para espessuras entre 4 mm e 70 mm. Um filme negativo é registro permanente. Distinção mais fácil do tipo de descontinuidade detectada. Executado em qualquer tipo de superfície.	Defeitos devem ocupar mais que aproximadamente 1,5% da espessura para ser registrado. Somente fissuras paralelas ao colidimento são registradas. Necessidade de acesso pelos dois lados da superfície inspecionada. Radiação perigosa, havendo a necessidade de evacuação de todo pessoal próximo à área em que está sendo realizada a radiografia. Tempo de exposição aumenta com a espessura. Custo mais elevado do que o ultra-sónico. Resultado duvidoso para soldas de filete.
Ultra-sónico	Detecta fissuras em qualquer orientação, escória, falta de fusão, inclusões, rupturas lamelares, vazios. Pode examinar minuciosamente quase qualquer espessura comercial. Alta sensibilidade na detecção de pequenos defeitos. Precisão na localização da descontinuidade e estimativa do tamanho. Inspeção rápida. Necessidade de acesso por somente uma superfície do elemento ensaiado.	Superfícies devem ser lisas. Equipamento deve ser frequentemente calibrado. Operador deve ser qualificado. Grânulos excessivamente grosseiros fornecem falsas indicações. Defeitos classificados por tamanho podem não ser muito exatos. O sistema pode ser sensível a pequenos defeitos que não são nocivos à estrutura. Falta de registro permanente. Difícil aplicação em peças de geometria complexa.

ONDE USAR CADA SOLDA

	Metal-base		Metal da solda compatível			
	ABNT	ASTM	Arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW)	Arco submerso (SAW)	Arco elétrico com proteção gasosa (GMAW)	Arco elétrico com fluxo no núcleo (FCAW)
Grupo I	NBR 6648 (CG-26 - $t \leq 20$ mm) NBR 6649 (CF-26) NBR 6650 (CF-26) NBR 7007 (MR 250 - $t \leq 19$ mm)	A36 ($t \leq 19$ mm) A500 Grau A A500 Grau B	AWS A5.1 - E60XX, E70XX AWS A5.5 ^e - E70XX-X	AWS A5.17 - F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E6XT-X, E6XT-XM, E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^e - E6XTX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo II	NBR 5000 (G-30) NBR 5000 (G-35) NBR 5004 (F-32/Q-32) NBR 5004 (F-35/Q-35) NBR 5004 (Q-40) NBR 5008 (CGR 400) ^d NBR 5008 (CGR 500) ^d NBR 5008 (CGR 500A) ^d NBR 5920 (CFR 500) ^d NBR 5921 (CFR 400) ^d NBR 5921 (CFR 500) ^d NBR 6648 (CG-26 - $t > 19$ mm) NBR 6648 (CG-28) NBR 6649 (CF-28) NBR 6650 (CF-28) NBR 6650 (CF-30) NBR 7007 (MR 250 - $t > 19$ mm) NBR 7007 (AR-350) NBR 7007 (AR-350 COR) NBR 8261 (Graus B e C)	A36 ($t > 19$ mm) A242 ^{d)} A572 Grau 42 A572 Grau 50 A572 Grau 55 A992 A588 ^d	AWS A5.1 - E7015, E7016, E7018, E7028 AWS A5.5 ^e - E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 - F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX AWS A5.23 ^e - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS) AWS A5.28 ^e - ER70S-XXX, E70C-XXX	AWS A5.20 - E7XT-X, E7XT-XM (exceto -2, -2M, -3, -10, -13, -14 e -GS e exceto -11 com espessura superior a 12 mm) AWS A5.29 ^{e)} - E7XTX-X, E7XTX-XM
Grupo III	NBR 5000 (G-42) NBR 5000 (G-45) NBR 5004 (Q-42) NBR 5004 (Q-45) NBR 7007 (AR-415)	A572 Grau 60 A572 Grau 65 A913 ^e	AWS A5.5 ^e - E8015-X, E8016-X, E8018-X	AWS A5.23 ^e - F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX	AWS A5.28 ^e - ER80S-XXX, E80C-XXX	AWS A5.29 ^e - E8XTX-X, E8XTX-XM

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

CÁLCULO DE SOLDAS

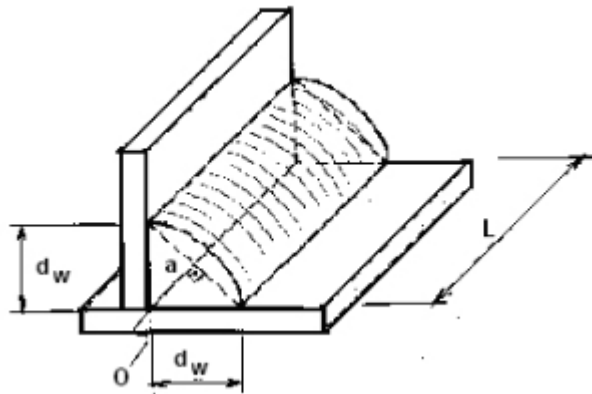
Tabela 8 — Força resistente de cálculo de soldas

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}^{a b d}$
Penetração total ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	Metal-base: $A_{MB} f_y / \gamma_{a1}^{e f i}$
	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	Metal-base: $0,60 A_{MB} f_y / \gamma_{a1}^i$
Penetração parcial ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	O menor dos dois valores: a) Metal-base: $A_{MB} f_y / \gamma_{a1}^i$ b) Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w1}^{j)}$
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^k$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas)	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^{h k}$
Tampão em furos ou rasgos	Cisalhamento paralelo às superfícies em contato, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^k$

Dimensões mínimas

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w ^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8
^a Executadas somente com um passe.	



6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

6.2.6.2.4 Podem ser usadas soldas intermitentes de filete, dimensionadas para transmitir solicitações de cálculo, quando a resistência de cálculo exigida for inferior à de uma solda contínua do menor tamanho de perna permitido, e também para ligar elementos de barras compostas. O comprimento efetivo de qualquer segmento de solda intermitente de filete não pode ser menor que 4 vezes o tamanho da perna, nem menor que 40 mm. O uso de soldas intermitentes requer cuidados especiais com flambagens locais e com corrosão.

Tabela 9 — Espessura mínima da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial

Menor espessura do metal-base na junta mm	Espessura mínima da garganta efetiva ^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19 até 37,5	8
Acima de 37,5 até 57	10
Acima de 57 até 152	13
Acima de 152	16
^a Ver 6.2.2 para definição de garganta efetiva.	

Dimensões mínimas

- d) soldas de filete em lados opostos de um plano comum devem ser interrompidas no canto comum a ambas as soldas.

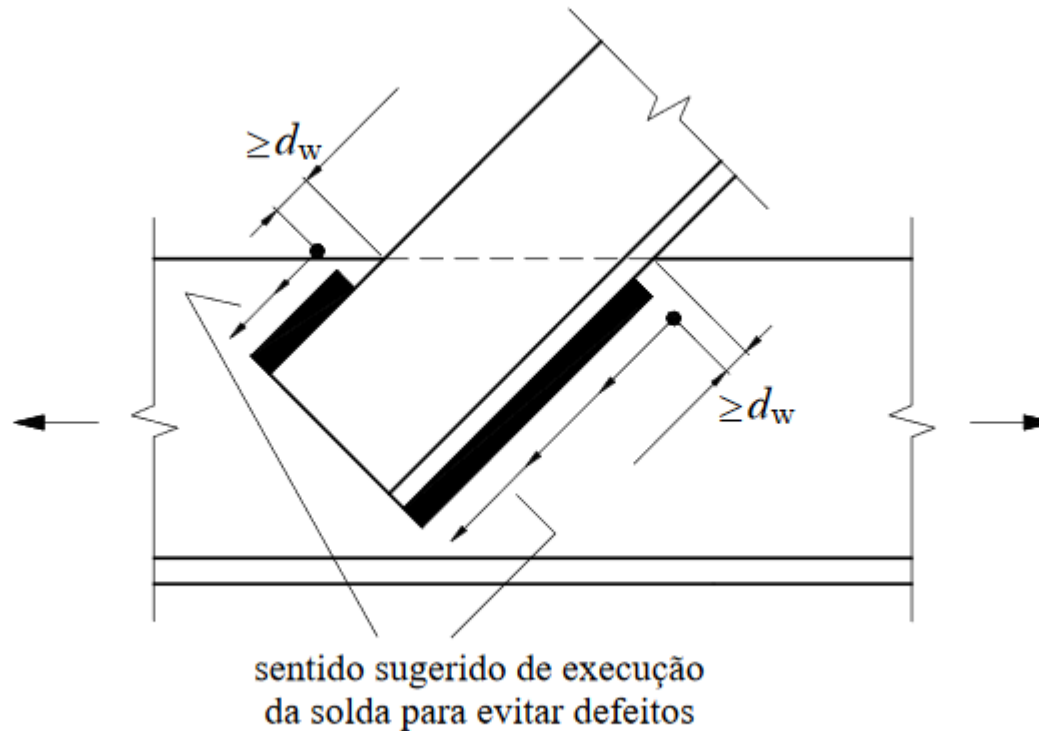


Figura 14 — Filetes de solda próximos de bordas tracionadas

Resistência da Solda

SOLDA DE FILETE

Ruptura da solda na seção efetiva

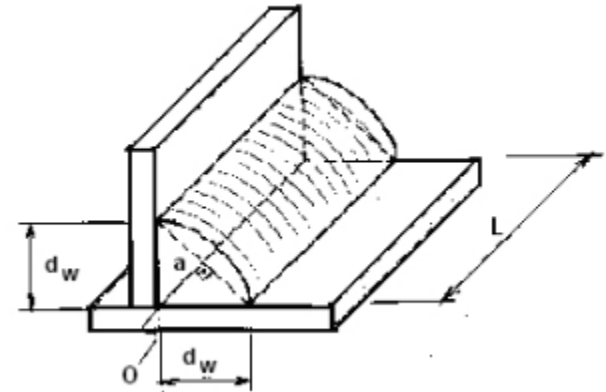
$$F_{w,Rd} = \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35}$$

Escoamento do metal base na face de fusão

$$F_{Rd} = \frac{0,60 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

Verificação somente ao cisalhamento

Para tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, a resistência de cálculo da solda é a mesma do metal base



$$A_w = L_w \cdot a$$

$$A_{MB} = L_w \cdot d_w$$

Resistência da Solda

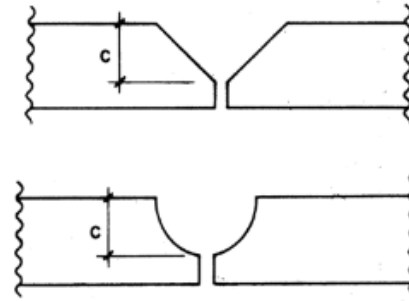
SOLDA DE PENETRAÇÃO PARCIAL

Ruptura da solda na seção efetiva

$$F_{w,Rd} = \frac{0,60 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35}$$

Escoamento do metal base na face de fusão

$$F_{Rd} = \frac{0,60 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$



c = profundidade de preparação do chanfro
Figura 23 - Soldas de entalhe de penetração parcial.

$$A_w = L_w \cdot a$$

$$A_{MB} = L_w \cdot d_w$$

com $a = c$ para entalhes J ou U

com $a = c - 3\text{mm}$ para chanfro em Bisel ou chanfro em V (45° a 60°)

Resistência da Solda

SOLDA DE PENETRAÇÃO TOTAL

Escoamento do metal base na face de fusão

$$F_{Rd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

$$A_w = L_w \cdot a$$

$$A_{MB} = L_w \cdot d_w$$

com $a = c$ para entalhes J ou U

com $a = c - 3\text{mm}$ para chanfro em Bisel ou chanfro em V (45° a 60°)

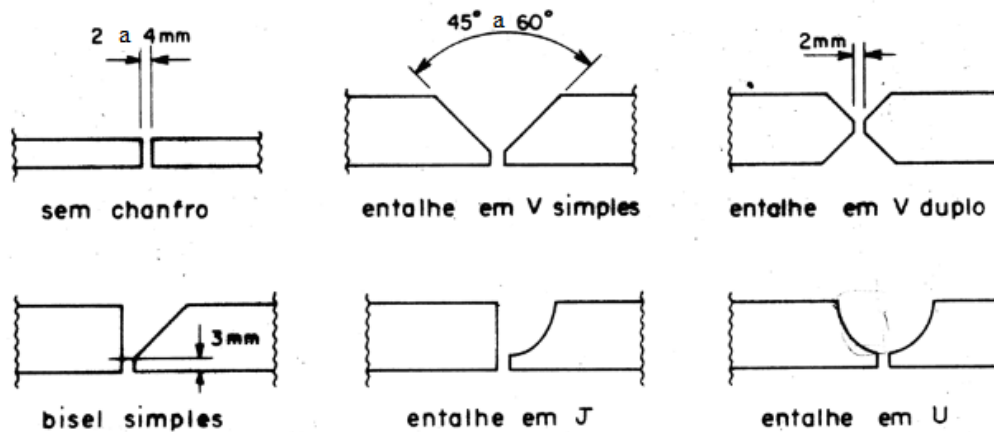
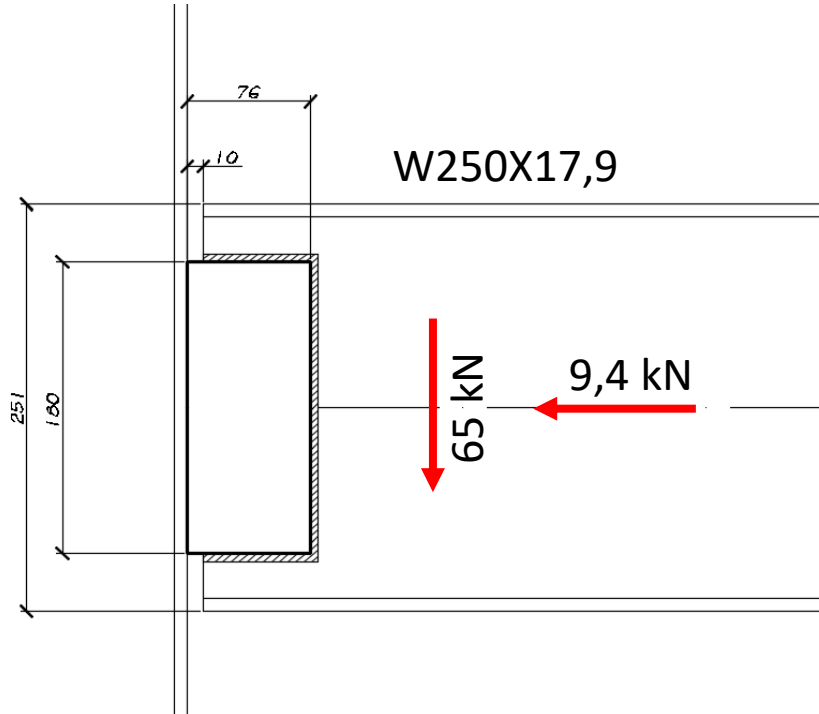


Figura 24 - Soldas de entalhe de penetração total.

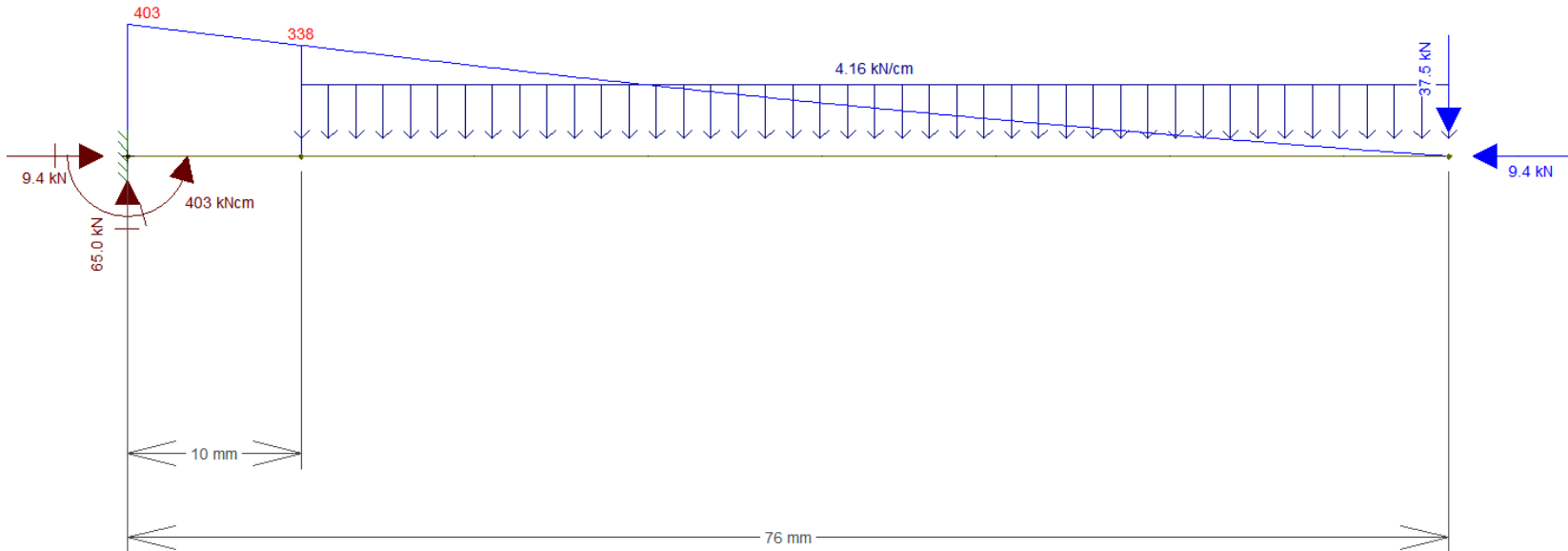
Exercício 01

Dimensione ligação viga pilar com chapa lateral soldada abaixo



Exercício 01

Determinação da espessura da chapa:



$$q = \frac{65}{6,6 \cdot 2 + 18} = 2,08 \text{ kN/cm}$$

Carga distribuída: $= 2,08 \times 2 = 4,16 \text{ kN/cm}$

Carga Pontual: $= 2,08 \times 18 = 37,5 \text{ kN}$

Exercício 01

Determinação da espessura da chapa:

Verificação à tensão de tração:

$$\sigma_t = \frac{M}{W} - \frac{N}{A} \rightarrow \frac{6.403}{t.18^2} - \frac{9,4}{t.18} \rightarrow \frac{F_y}{1,1} = \frac{7,46 - 0,52}{t}$$

$$t = \frac{1,1 \cdot (7,46 - 0,52)}{25} = 0,305 \text{ cm}$$

Verificação à tensão Cortante

$$\tau = \frac{65}{t.18} \rightarrow \frac{0,6 \cdot F_y}{1,1} = \frac{65}{t.18} \rightarrow t = \frac{65 \cdot 1,1}{0,6 \cdot 25 \cdot 18} = 0,264 \text{ cm}$$

Adotaremos chapa $t = 3,2 \text{ mm}$ ($1/8''$)

Exercício 01

Determinação da solda entre pilar e chapa:

Considerando filete de solda contínuo

$$W_{solda} = 2 \left(\frac{t \cdot 18^2}{6} \right) \rightarrow W_{solda} = 108 \cdot t$$

$$\sigma_t = \frac{M}{W} - \frac{N}{A_{solda}} \rightarrow \sigma_t = \frac{403}{108 \cdot t} - \frac{9,4}{2 \cdot 18 \cdot t} \rightarrow \sigma_t = \frac{3,47}{t}$$

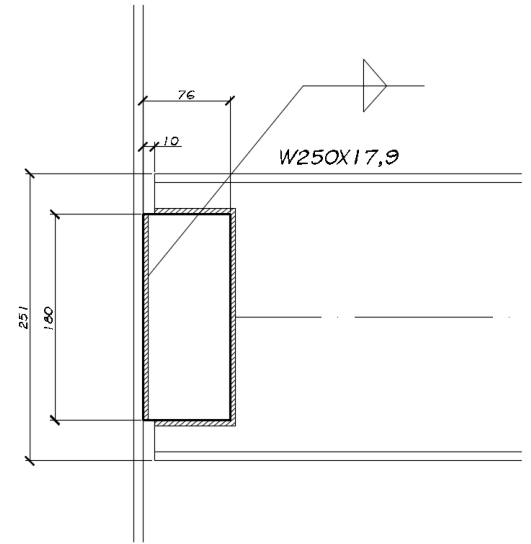
$$\tau = \frac{65}{2 \cdot 18 \cdot t} \rightarrow \tau = \frac{1,81}{t}$$

$$\tau_R = \sqrt{\left(\frac{3,47}{t}\right)^2 + \left(\frac{1,81}{t}\right)^2} \rightarrow \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot F_w}{1,35} = \sqrt{\left(\frac{3,47}{t}\right)^2 + \left(\frac{1,81}{t}\right)^2}$$

$$\left(\frac{0,6.0,707.41,5}{1,35}\right)^2 = \left(\frac{3,47}{t}\right)^2 + \left(\frac{1,81}{t}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{0,6.0,707.41,5}{1,35}\right)^2 = \frac{15,31}{t^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{15,31}{170}} = 0,31cm$$

Adotaremos 4mm E60XX



Exercício 01

Determinação da solda entre pilar e chapa:

Considerando filetes de 40mm (superior e inferior)

$$I_{solda} = 4 \cdot \left(\frac{t \cdot 4^3}{12} + t \cdot 4 \cdot 7^2 \right) + \frac{t \cdot 2^3}{12} + t \cdot 2 \cdot 1^2$$

$$I_{solda} = 808 \cdot t$$

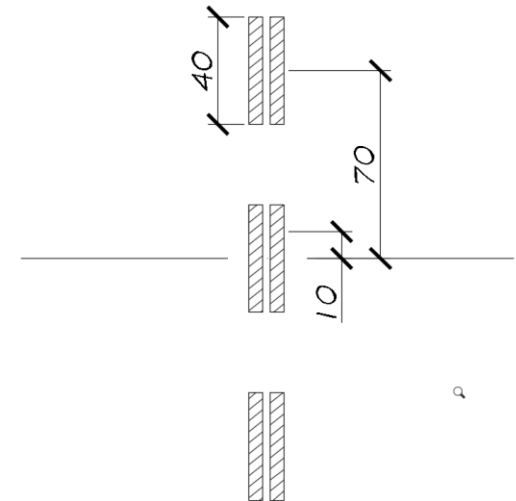
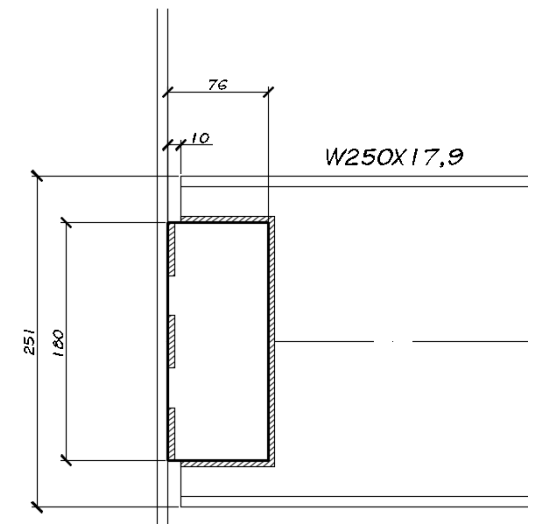
$$\sigma_t = \frac{M \cdot y}{I} - \frac{N}{A_{solda}} \rightarrow \sigma_t = \frac{403,9}{808 \cdot t} - \frac{9,4}{2 \cdot (3 \cdot 4) \cdot t} \rightarrow \sigma_t = \frac{4,09}{t}$$

$$\tau = \frac{65}{2 \cdot (3 \cdot 4) \cdot t} \rightarrow \tau = \frac{2,70}{t}$$

$$\tau_R = \sqrt{\left(\frac{4,09}{t} \right)^2 + \left(\frac{2,70}{t} \right)^2} \rightarrow \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot F_w}{1,35} = \sqrt{\left(\frac{4,09}{t} \right)^2 + \left(\frac{2,70}{t} \right)^2}$$

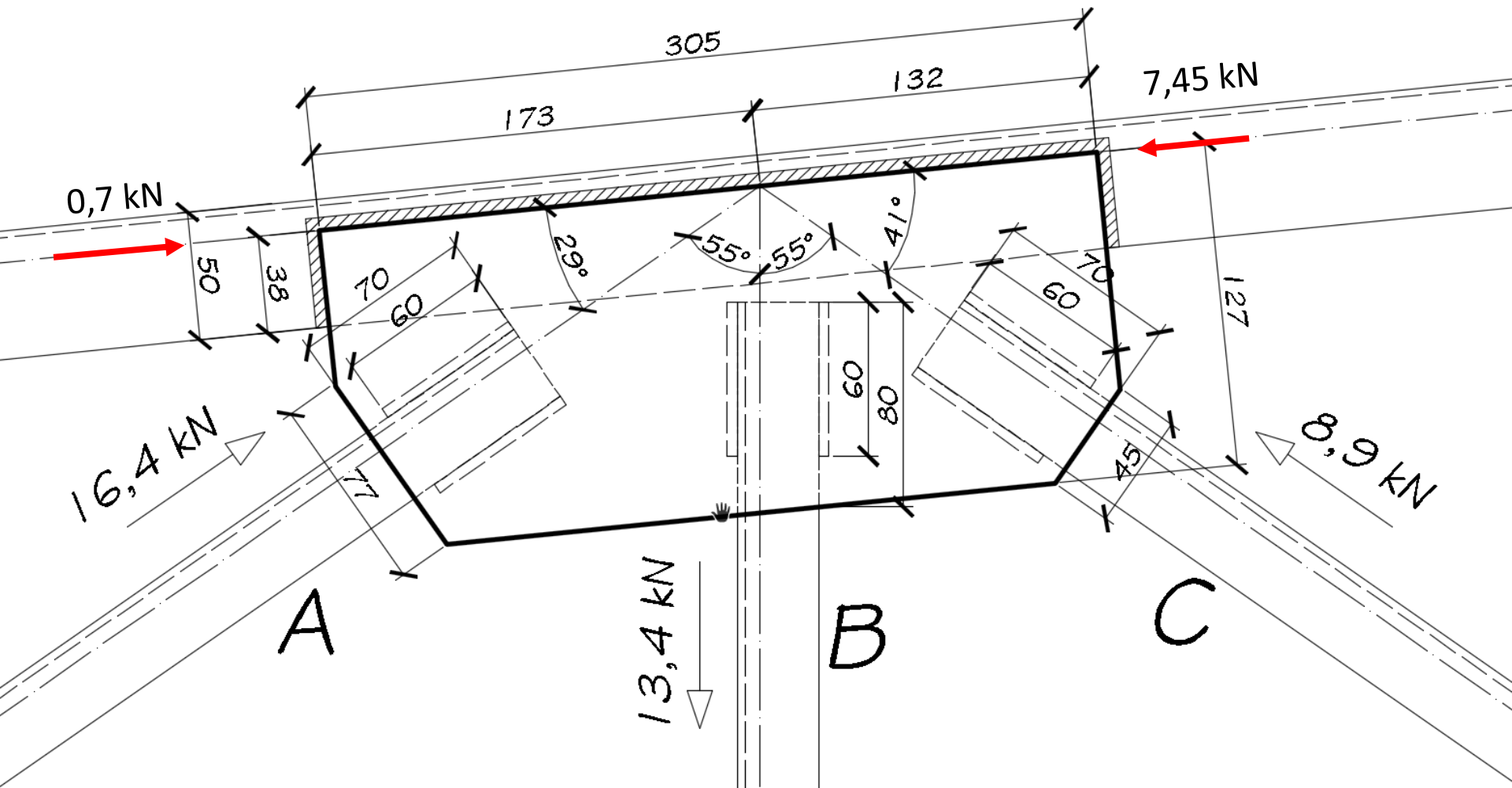
$$\left(\frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot 41,5}{1,35} \right)^2 = \left(\frac{4,09}{t} \right)^2 + \left(\frac{2,70}{t} \right)^2 \rightarrow 170 = \frac{24,01}{t^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{24,01}{170}} = 0,375 \text{ cm} \quad \text{Adotaremos 4mm E60XX}$$



Exercício 02

Dimensione o Nó de treliça com Chapa Gousset. Todas as diagonais e montantes são L31.75X3,2mm e o Banzo Superior é U125X50X2,65



Exercício 02

Passo 1: dimensionar soldas de filete das cantoneiras

Espessura mínima = 3mm, Espessura máxima = 3,17mm – Adotar $d_w = 3\text{mm}$ – E60XX

Resistência do Metal Base

$$F_w, Rd = \frac{0,6 \cdot A_{Mb} \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{0,6 \cdot 2 \cdot 60,3 \cdot 25}{1,10} \rightarrow 49,09 \text{ kN}$$

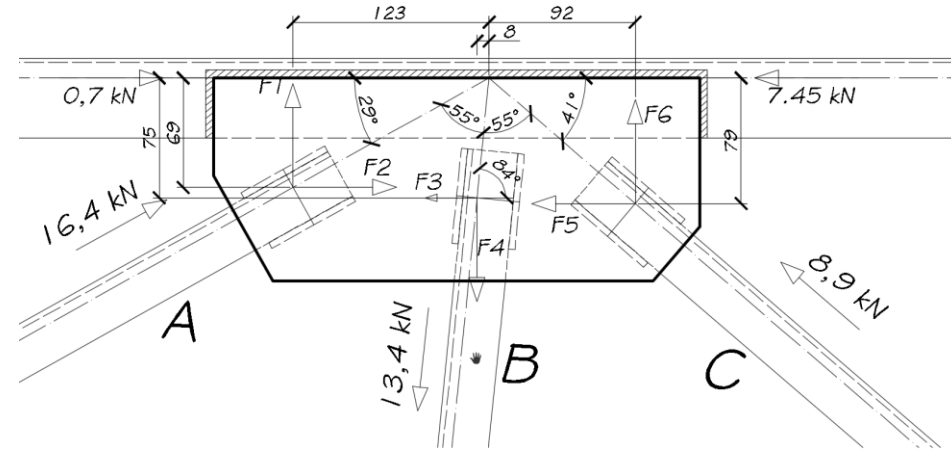
Resistência do Filete de Solda

$$F_w, Rd = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35} \rightarrow F_w, Rd = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot l_c \cdot d_w \cdot F_w}{1,35} \rightarrow F_w, Rd = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot 2 \cdot 60,3 \cdot 41,5}{1,35} \rightarrow F_w, Rd = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot 2 \cdot 60,3 \cdot 41,5}{1,35} = 46,94 \text{ kN}$$

OK para diagonais A, B e C = 45 kN

Exercício 02

Passo 2: Determinar espessura da chapa



Esbeltez da aba livre da chapa

$$\frac{b}{t} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \frac{127 - 38}{t} = 15,83 \quad t \geq 5,62 \text{ mm}$$

Adotaremos $t = 6,35 \text{ mm}$

$$F_1 = 16,4 \cdot \sin 29^\circ = 7,95 \text{ kN} \quad F_4 = 13,4 \cdot \sin 84^\circ = 13,32 \text{ kN}$$

$$F_2 = 16,4 \cdot \cos 29^\circ = 14,34 \text{ kN} \quad F_5 = 8,9 \cdot \cos 41^\circ = 6,71 \text{ kN}$$

$$F_3 = 13,4 \cdot \cos 84^\circ = 1,40 \text{ kN} \quad F_6 = 8,9 \cdot \sin 41^\circ = 5,84 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 7,95 \cdot 12,3 - 14,34 \cdot 6,9 + 1,40 \cdot 7,5 - 13,32 \cdot 0,8 + 6,71 \cdot 7,9 - 5,84 \cdot 9,2 = -2,04 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Porém, aplicaremos o texto 6.1.5.2 para cada diagonal e montante (min 45kN)

$$F_1 = 45 \cdot \sin 29^\circ = 21,82 \text{ kN}$$

$$F_2 = 45 \cdot \cos 29^\circ = 39,35 \text{ kN}$$

$$F_3 = 45 \cdot \cos 84^\circ = 4,70 \text{ kN}$$

$$F_4 = 45 \cdot \sin 84^\circ = 44,75 \text{ kN}$$

$$F_5 = 45 \cdot \cos 41^\circ = 33,97 \text{ kN}$$

$$F_6 = 45 \cdot \sin 41^\circ = 29,52 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 21,82 \cdot 12,3 - 39,35 \cdot 6,9 + 4,70 \cdot 7,5 - 44,75 \cdot 0,8 + 33,97 \cdot 7,9 - 29,52 \cdot 9,2 = -6,90 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$H_{sd} = 45 + 39,35 - 4,70 - 33,97 - 45 = -0,68 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 21,82 - 44,75 + 29,52 = 6,59 \text{ kN}$$

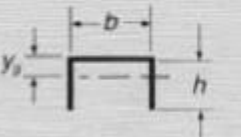
$$\sigma_t = \frac{V_{sd}}{B \cdot t} + \frac{M}{W} \rightarrow \sigma_t = \frac{V_{sd}}{B \cdot t} + \frac{6M}{B \cdot t^2} \rightarrow \sigma_t = \frac{6,59}{30,5 \cdot 0,635} + \frac{6 \cdot 6,90}{30,5 \cdot 0,635^2} = 3,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{t_{max}} = \frac{F_y}{1,1} = \frac{25}{1,1} = 22,7 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK!}$$

$$\sigma_{cortante} = \frac{H_{sd}}{B \cdot t} = \frac{0,68}{30,5 \cdot 0,635} = 0,035 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_{v_{max}} = \frac{0,6 \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,6 \cdot 25}{1,1} = 13,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \text{ OK!}$$

Exercício 02

Passo 3: Determinação da espessura do filete de solda da chapa Gousset

Seções	Módulo resistente $W_x = I_x/y$	Momento de inércia polar I_p ($t = 1$) em relação ao centro de gravidade
 $y_g = \frac{h^2}{b + 2h}$	$\frac{2bh + h^3}{3}$	$\frac{b^3 + 6b^2h + 8h^3}{12} - \frac{h^4}{2h + b}$

$$y_G = \frac{3,8^2}{30,5 + 2 \cdot 3,8} = 0,38 \text{ cm}$$

$$I_{p_{unit}} = \frac{(30,5^3 + 6 \cdot 30,5^2 \cdot 3,8 + 8 \cdot 3,8^3)}{12} - \frac{3,8^4}{2 \cdot 3,8 + 30,5} = 4162,97 \text{ cm}^2$$

$$I_p = 4162,97 \cdot 0,3 = I_p = 1248,9$$

$$\tau_x = \frac{M \cdot y}{I_p} + \frac{H_{sd}}{l_c \cdot d_w} = \frac{6,90 \cdot 0,38}{1248,9} + \frac{0,68}{(2,3,8 + 30,5) \cdot 0,3} = 0,075 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_y = \frac{M \cdot x}{I_p} + \frac{V_{sd}}{l_c \cdot d_w} = \frac{6,90 \cdot 15,25}{1248,9} + \frac{6,59}{(2,3,8 + 30,5) \cdot 0,3} = 0,67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_R = \sqrt{0,67^2 + 0,075^2} = 0,674 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência do Metal Base $F_{w,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_{Mb} \cdot F_y}{1,10} \rightarrow \frac{F_{wRd}}{A_{Mb}} = \frac{0,6 \cdot 25}{1,10} \rightarrow 13,63 \text{ kN OK!}$

Resistência do Filete de Solda $F_{w,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35} \rightarrow F_{w,Rd} = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot l_c \cdot d_w \cdot F_w}{1,35} \rightarrow \frac{F_{wRd}}{l_c \cdot d_w} = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot 41,5}{1,35} = 13,04 \text{ kN/cm}^2 \text{ OK!}$

Exercício 02

Passo 4: Determinar espessura para colapso por rasgamento

6.5.6 Colapso por rasgamento

Para o estado-limite de colapso por rasgamento, a força resistente é determinada pela soma das forças resistentes ao cisalhamento de uma ou mais linhas de falha e à tração em um segmento perpendicular. Esse estado-limite deve ser verificado junto a ligações em extremidades de vigas com a mesa recortada para encaixe e em situações similares, tais como em barras tracionadas e chapas de nó (algumas situações típicas são mostradas na Figura 18-a). A força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento é dada por:

$$F_{t,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_u A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt}) \leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_y A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt})$$

onde:

A_{gv} é a área bruta sujeita a cisalhamento;

A_{nv} é a área líquida sujeita a cisalhamento;

A_{nt} é a área líquida sujeita à tração;

C_{ts} é igual a 1,0 quando a tensão de tração na área líquida for uniforme, e igual a 0,5 quando for não-uniforme (as Figuras 18-b e 18-c ilustram situações típicas, respectivamente, para $C_{ts} = 1,0$ e $C_{ts} = 0,5$).

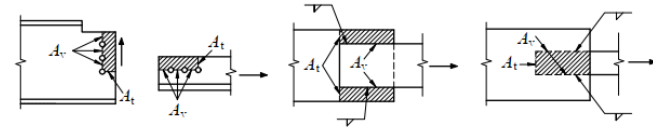
$$A_{tração} = 3,175 \cdot t$$

$$A_{Cortante} = 2 \cdot 6 \cdot t = 12 \cdot t$$

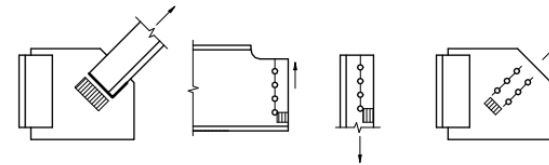
$$F_{t,Rd} = \frac{0,60 \cdot 40 \cdot 12 \cdot t + 1,0 \cdot 40 \cdot 3,175 \cdot t}{1,35} \rightarrow 45 = \frac{415 \cdot t}{1,35} \rightarrow t = 1,46 \text{ mm}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,60 \cdot 25 \cdot 12 \cdot t + 1,0 \cdot 40 \cdot 3,175 \cdot t}{1,35} \rightarrow 45 = \frac{307 \cdot t}{1,35} \rightarrow t = 1,98 \text{ mm}$$

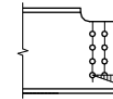
Como $t = 6,35 > 1,98 \text{ mm}$ OK!



(a) Situações típicas nas quais deve ser verificado o estado-limite



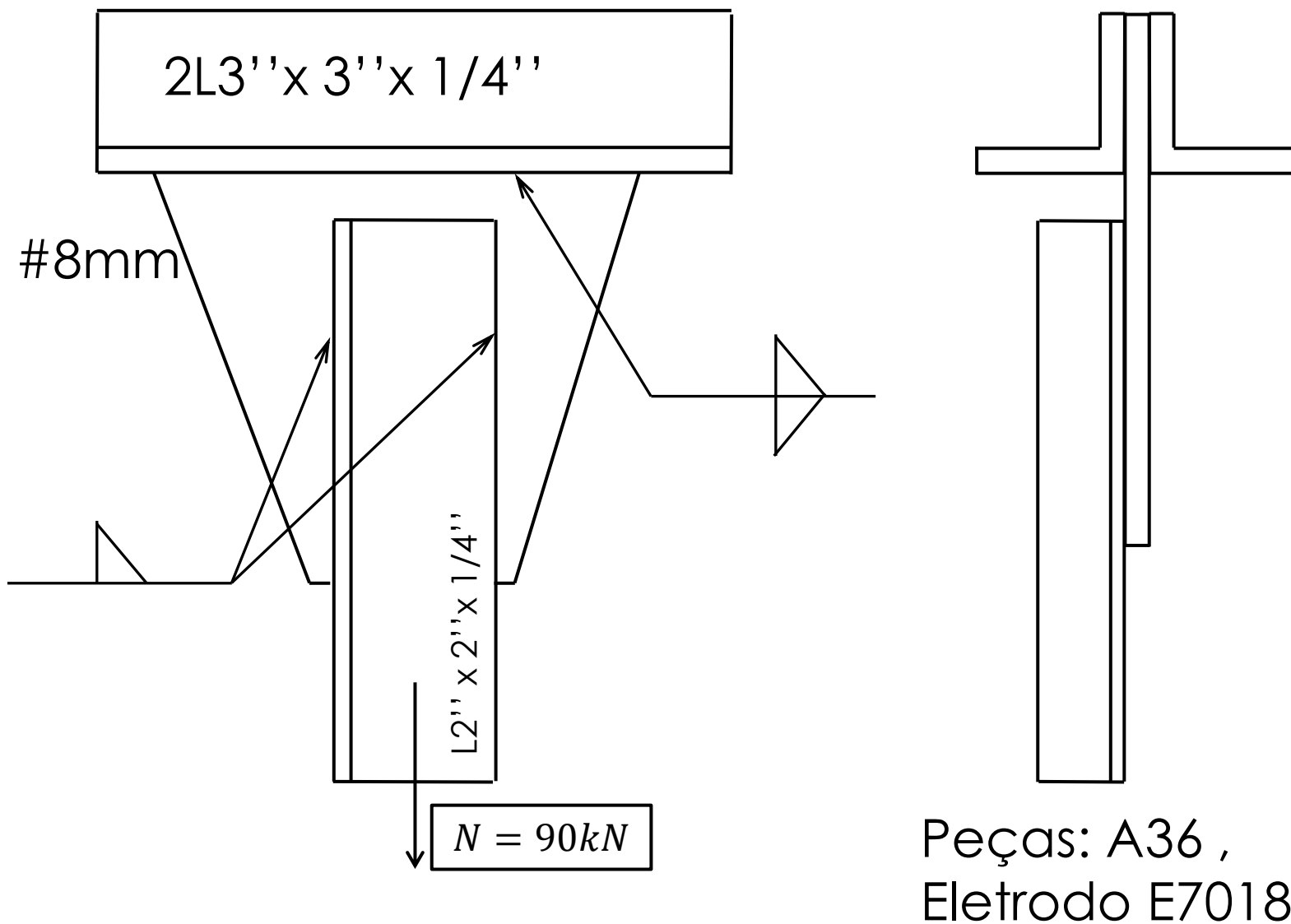
(b) Situações típicas nas quais $C_{ts} = 1,0$



(c) Situação típica na qual $C_{ts} = 0,5$

Figura 18 — Colapso por rasgamento

Exercício 03 – Dimensão a solda



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 04 – Dimensione a solda

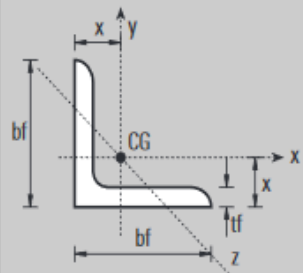


Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais

Propriedades para dimensionamento

b_f		P	A	t_f		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{z \min}$	$\bar{x}$
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63

Exercício 03 – Dimensão a solda

Passo 1- Determinar a resistência do metal de solda na cantoneira tracionada

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_y}{1,35}$$

Perna mínima: 3mm

Perna máxima: 4,85mm

Adotado: 4mm

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8
^a Executadas somente com um passe.	

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot 0,4 \cdot C \cdot 48,5}{1,35}$$

$$N_{t,Rd} = 6,09 \cdot C$$

$$C = \frac{90}{6,09} = 14,77 \text{ cm}$$

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

Exercício 03 – Dimensão a solda

Passo 2- Determinar a resistência do metal base

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,10}$$

Adota-se o maior dos Valores

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot 0,4 \cdot C \cdot 25}{1,10}$$

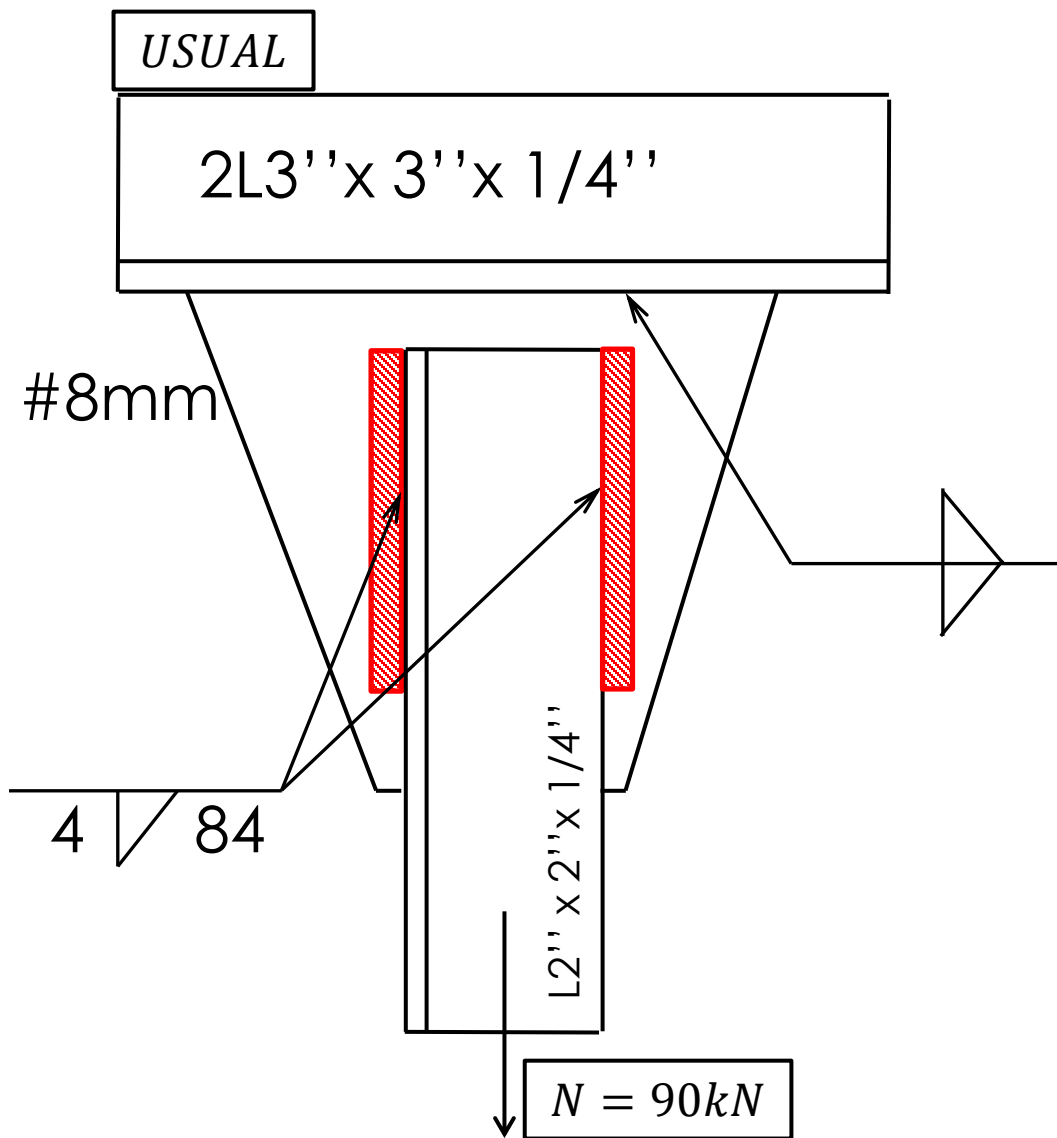
$$C = 16,51\text{cm} / 2 = 8,25\text{cm} \sim 84\text{mm}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot 0,4 \cdot C \cdot 25}{1,10}$$

$$N_{t,Rd} = 5,45 \cdot C$$

$$C = \frac{90}{5,45} = 16,51\text{cm}$$

Exercício 03 – Dimensão a solda



Exercício 03 – Dimensão a solda

Passo 3- Determinar a resistência à tração da cantoneira vertical

Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} \quad N_{t,Rd} = \frac{6,06 \cdot 25}{1,1} \quad N_{t,Rd} = 137,72 \text{ kN}$$

Ruptura da seção líquida

$$C_t = 1 - \frac{ec}{lc} \quad C_t = 1 - \frac{1,5}{8,4} = 0,8214$$

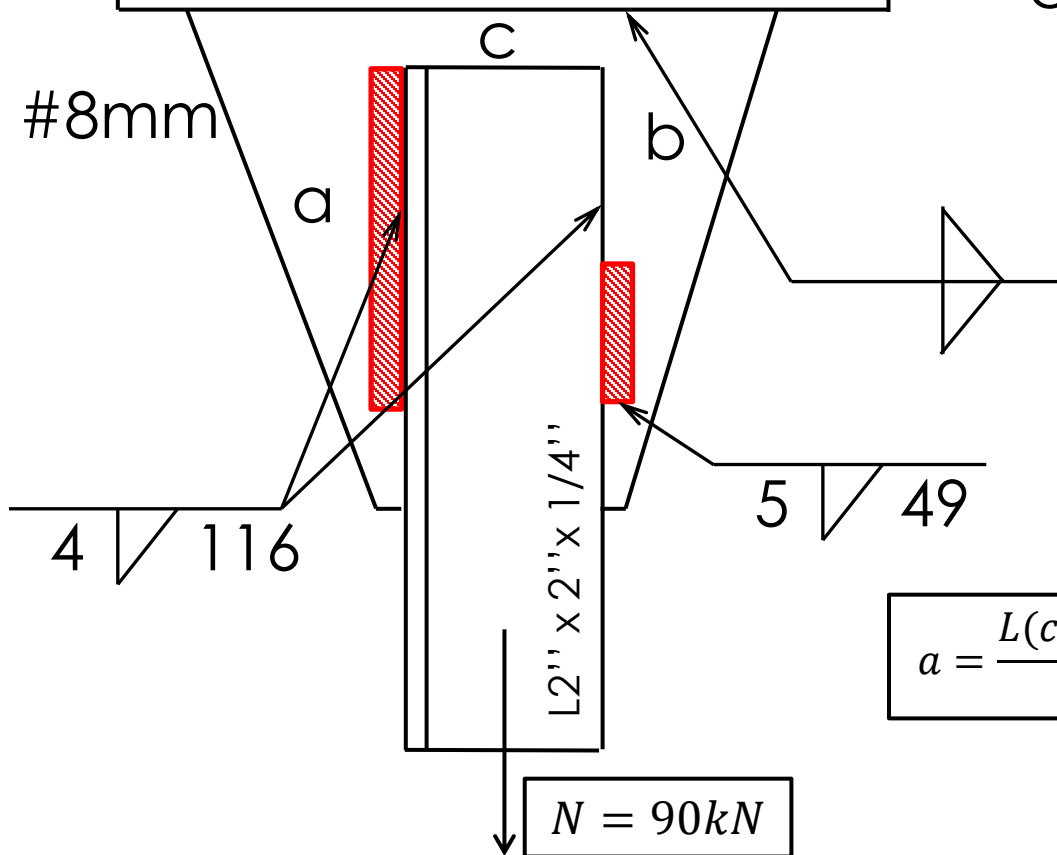
$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n \cdot F_u}{1,35} \quad N_{t,Rd} = \frac{0,8214 \cdot 6,06 \cdot 40}{1,35} = 147,48 \text{ kN OK!}$$

Exercício 03 – Dimensão a solda

MAIS SOFISTICADO

2L3''x 3''x 1/4''

Sendo x = distância da aba ao CG da cantoneira



$$a = \frac{L(c - x)}{c} = \frac{16,51(5,08 - 1,5)}{5,08} = 11,63cm$$

$$b = \frac{L \cdot x}{c} = 4,87cm$$

Exercício 03 – Dimensione a solda

Passo 3- Determinar a largura da chapa de ligação

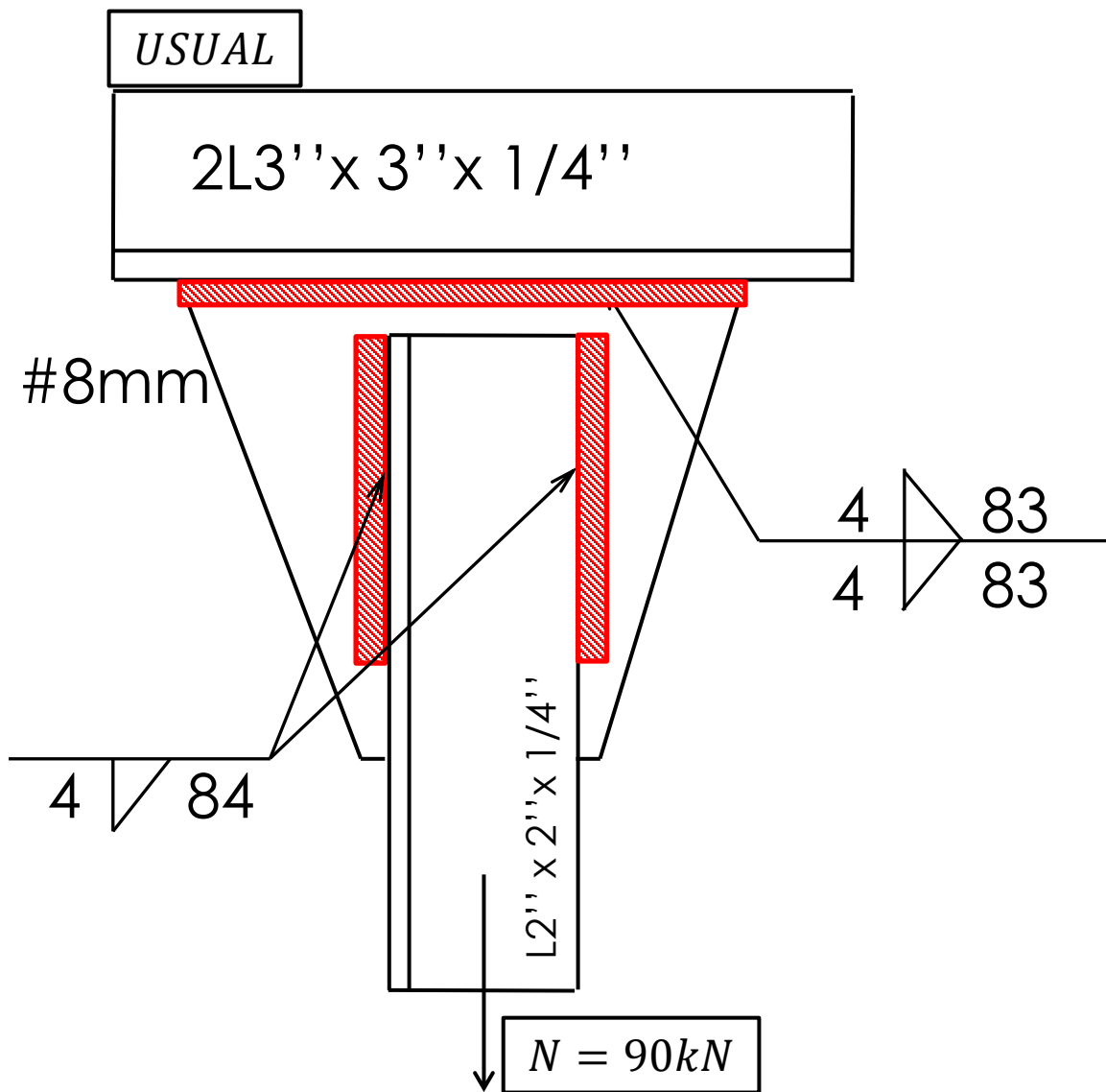
Resistência do Metal de Solda

$$\frac{N_{t,Rd}}{2} = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35} \quad 45 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot C \cdot 0,4 \cdot 48,5}{1,35} \quad C = 7,38\text{cm (de cada lado)}$$

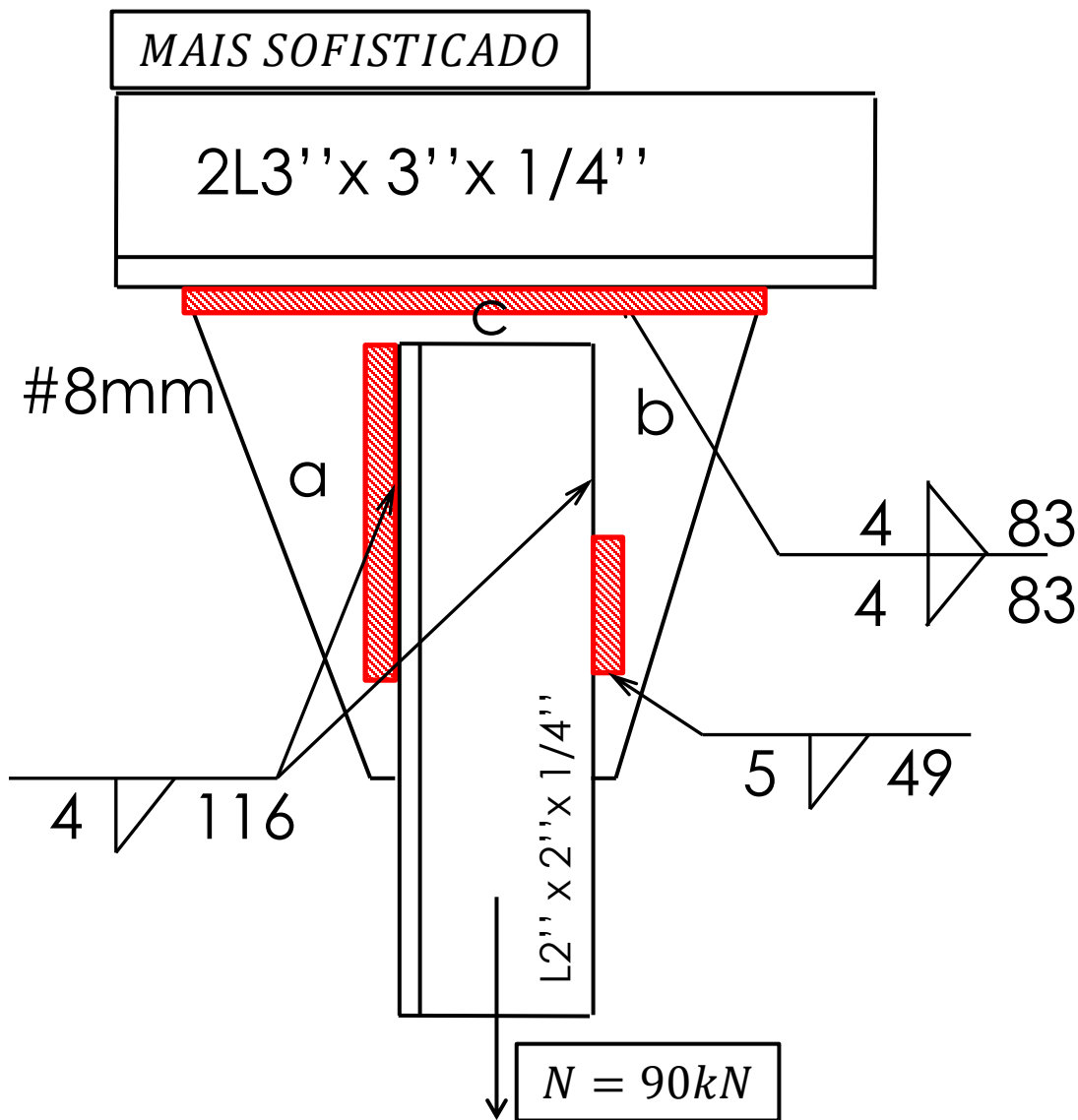
Resistência do Metal Base

$$\frac{N_{t,Rd}}{2} = \frac{0,6 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,10} \quad 45 = \frac{0,6 \cdot 0,4 \cdot C \cdot 25}{1,10} \quad C = 8,25\text{cm (de cada lado)}$$

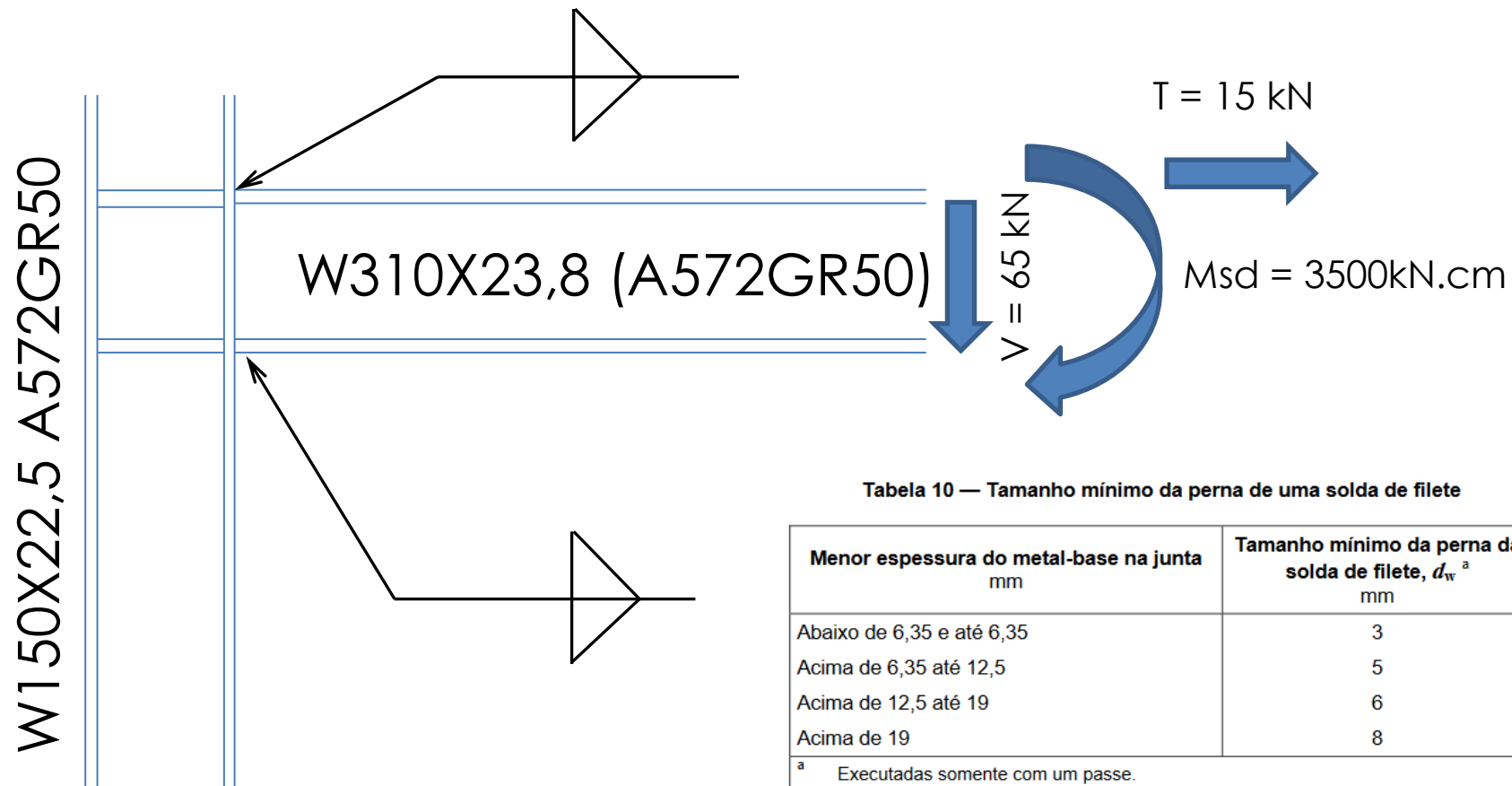
Exercício 03 – Dimensão a solda



Exercício 03 – Dimensão a solda



Exercício 04 – Dimensione a solda



Exercício 04 – Dimensão a solda

Método 1: (Rápido)

$$F = \frac{M}{d} \rightarrow F = \frac{3500}{\left(30,5 - \frac{0,7}{2}\right)} = 116,08 \text{ kN}$$

$$F_{Unit-M} = \frac{116,08}{10,1 + 4,1 + 4,1} = 6,35 \text{ kN/cm}$$

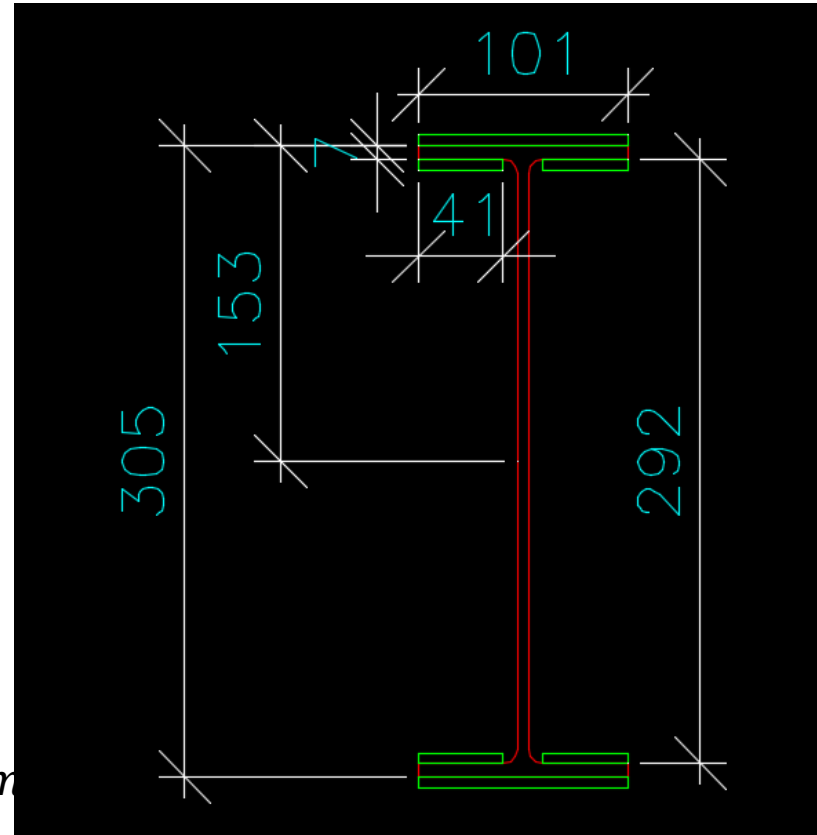
$$F_{Unit-T} = \frac{15}{2 \cdot (10,1 + 4,1 + 4,1)} = 0,41 \text{ kN/cm}$$

$$F_{Unit-V} = \frac{63}{2 \cdot (10,1 + 4,1 + 4,1)} = 1,72 \text{ kN/cm}$$

$$F_{Unit-R} = \sqrt{(6,35 + 0,41)^2 + 1,72^2} = 6,98 \text{ kN/cm}$$

$$N_w, Rd = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35} \rightarrow$$

$$6,98 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 1 \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = 0,458 \text{ cm} \quad \text{Adotaremos } d_w = 5 \text{ mm}$$



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 04 – Dimensione a solda

Método 2: Pelo W Unitario

$$W_{unit} = 10,1 \cdot 30,5 + 2 \cdot 4,1 \cdot 29,2 = 548 \text{ cm}$$

$$F_{unit-M} = \frac{M}{W_{unit}} \rightarrow \frac{3500}{548} = 6,37 \text{ kN/cm}$$

$$F_{Unit-T} = \frac{15}{2 \cdot (10,1 + 4,1 + 4,1)} = 0,41 \text{ kN/cm}$$

$$F_{Unit-V} = \frac{63}{2 \cdot (10,1 + 4,1 + 4,1)} = 1,72 \text{ kN/cm}$$

$$F_{Unit-R} = \sqrt{(6,37 + 0,41)^2 + 1,72^2} = 6,99 \text{ kN/cm}$$

$$N_w, Rd = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35} \rightarrow$$

$$6,99 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 1 \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = 0,459 \text{ cm}$$

Seções	Módulo resistente $W_x = I_x / y$	Momento de inércia polar $I_p (I = 1) \text{ em relação ao centro de gravidade}$
	$\frac{h^3}{6}$	$\frac{h^3}{12}$
	$\frac{h^3}{3}$	$\frac{h(3b^2 + h^2)}{6}$
	bh	$\frac{b(3h^2 + b^2)}{6}$
	$y_s = \frac{h^2}{2(b+h)}$ $x_s = \frac{b^2}{2(b+h)}$	$\frac{(b+h)^4 - 6b^2h^2}{12(b+h)}$
	$x_s = \frac{b^2}{2b+h}$	$\frac{8b^3 + 6bh^2 + h^3}{12} - \frac{b^4}{2b+h}$
	$y_s = \frac{h^2}{b+2h}$	$\frac{b^3 + 6b^2h + 8h^3}{12} - \frac{h^4}{2h+b}$
	$bh + \frac{h^3}{3}$	$\frac{(b+h)^3}{6}$
	$y_s = \frac{h^2}{b+2h}$	$\frac{b^3 + 8h^3}{12} - \frac{h^4}{b+2h}$
	$bh + \frac{h^2}{3}$	$\frac{b^3 + 3bh^2 + h^3}{6}$
	πr^2	$2\pi r^3$

Adotaremos $d_w = 5 \text{ mm}$

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 05 – Dimensão a solda

Pelo W Unitario

$$W_{unit} = 10,1 \cdot 30,5 + 2 \cdot 4,1 \cdot 29,2 + 4 \cdot \left(\frac{10^3}{12} + 8,9^2 \right) = 1198,17$$

$$F_{unit-M} = \frac{M}{W_{unit}} \rightarrow \frac{3500}{1198,17} = 2,92 \text{ kN/cm}$$

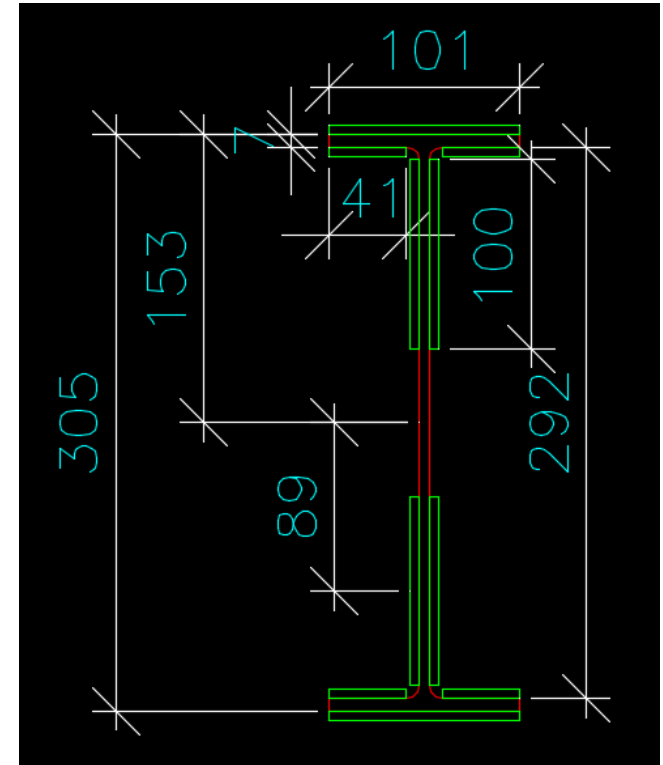
$$F_{Unit-T} = \frac{15}{2 \cdot (10,1 + 4,1 + 4,1 + 10 + 10)} = 0,1958 \text{ kN/cm}$$

$$F_{Unit-v} = \frac{63}{2 \cdot (10,1 + 4,1 + 4,1 + 10 + 10)} = 0,822 \text{ kN/cm}$$

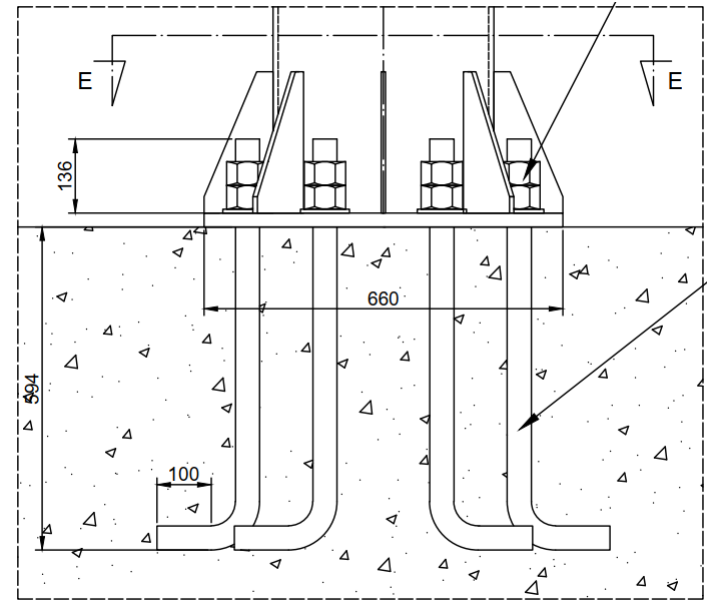
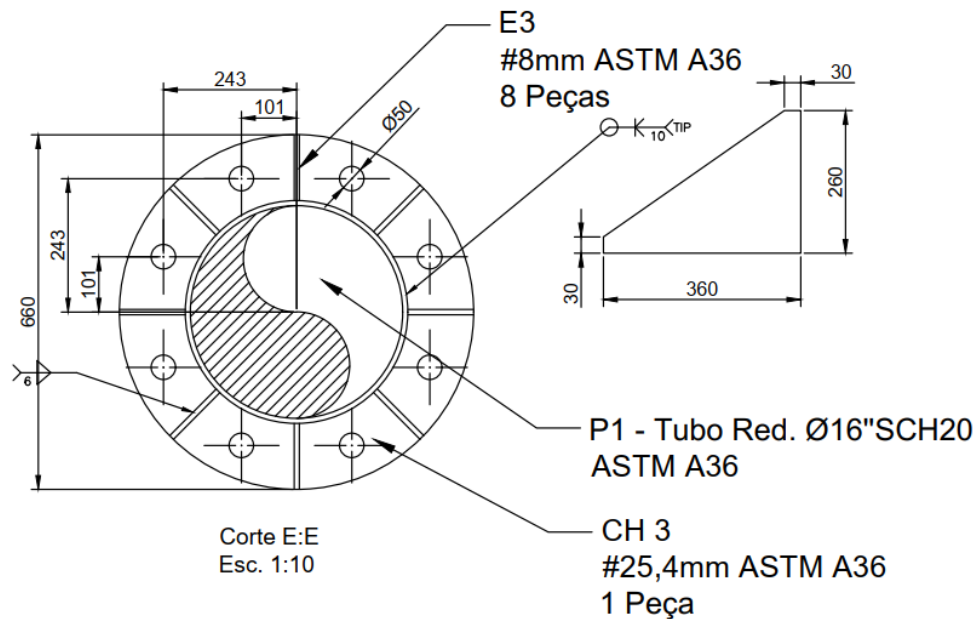
$$F_{Unit-R} = \sqrt{(2,92 + 0,1958)^2 + 0,822^2} = 3,22 \text{ kN/cm}$$

$$N_w, Rd = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35} \rightarrow$$

$$3,22 = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 1 \cdot 48,5}{1,35} \rightarrow d_w = 0,211 \text{ cm} \quad \text{Adotaremos } d_w = 5 \text{ mm}$$



Exercício 06 – Dimensione a solda



Esforços:

$$M_{sd} = 27504 \text{ kN.cm}$$

$$T_{sd} = 1478 \text{ kN.cm}$$

$$H_{sd} = 31 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 14,98 \text{ kN}$$

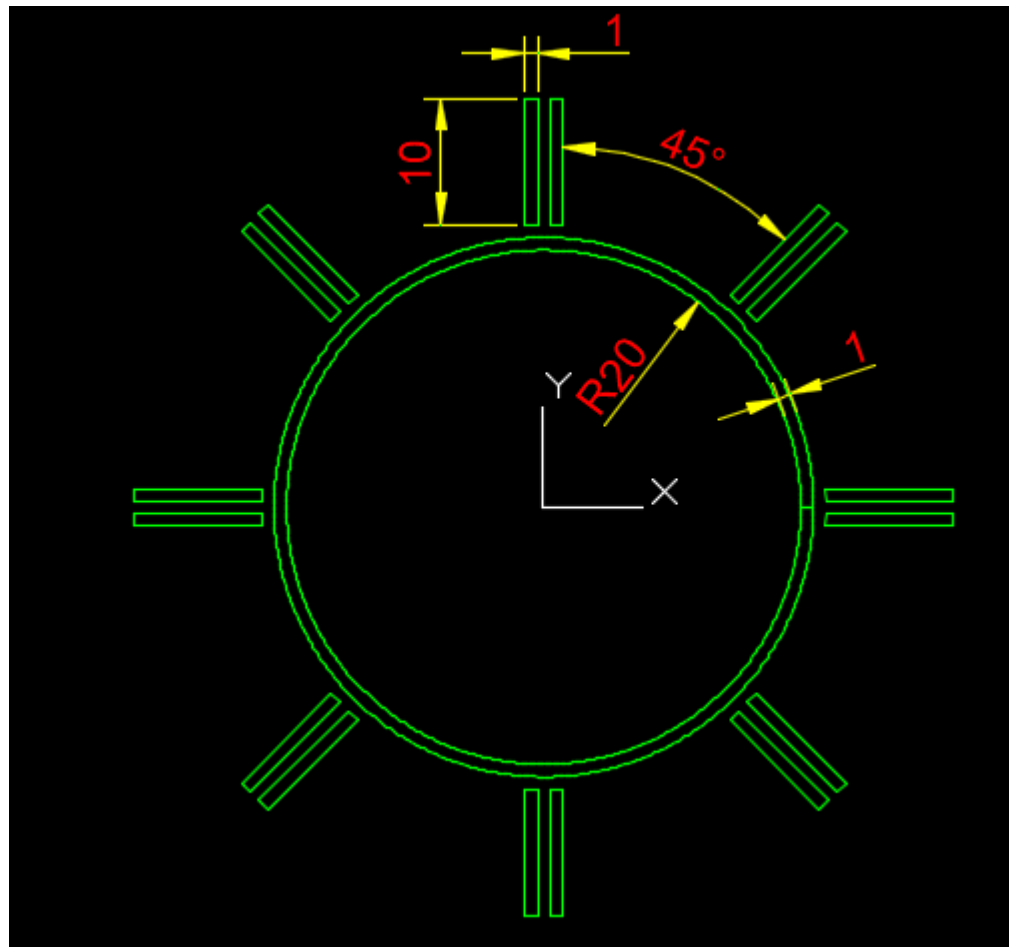
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Exercício 06 – Dimensione a solda

Seção transversal no plano entre a solda e o pilar com as nervuras

```
Command: *Cancel*
Command: MASSPROP
Select objects: Specify opposite corner: 17 found
Select objects:
----- REGIONS -----
Area:                291.1417
Perimeter:           616.2988
Bounding box:        X: -32.3124 -- 32.3270
                     Y: -32.3197 -- 32.3197
Centroid:            X: 0.0000
                     Y: 0.0000
Moments of inertia:  X: 88933.8993
                     Y: 88889.4451
Product of inertia:  XY: 0.0000
Radii of gyration:   X: 17.4776
                     Y: 17.4732
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                     I: 88933.8993 along [1.0000 0.0000]
                     J: 88889.4451 along [0.0000 1.0000]
```

MASSPROP Write analysis to a file? [Yes No] <N>: |



Exercício 06 – Dimensione a solda

$$F_M = M \cdot \frac{y}{I(\text{Unit.})} \quad F = 27504 \cdot \frac{32,32}{88933,9} = 9,99 \text{ kN}$$

$$F_T = T \cdot \frac{y}{I_x + I_y} \quad F_T = 1478 \cdot \frac{32,32}{2 \cdot 88933,9} = 0,27 \text{ kN}$$

Comprimento total de filetes de solda:

$$l_{\text{solda}} = 2 \cdot \pi \cdot 20 + 16 \cdot 10 = 285 \text{ cm:}$$

$$F_H = \frac{H_{sd}}{l} = \frac{31}{285} = 0,11 \text{ kN}$$

$$F_R = \sqrt{(9,99 - 0,052)^2 + (0,27 + 0,11)^2} = 9,95 \text{ kN}$$

$$F_{Nc} = \frac{14,98}{285} = 0,052 \text{ kN}$$

$$F_{wRd} = \frac{0,6 \cdot 0,707 \cdot d_w \cdot 1 \cdot F_w}{1,35} \quad d_w = \frac{1,35 \cdot 9,95}{0,6 \cdot 0,707 \cdot 1 \cdot 41,5} = 0,763 \text{ (8mm - E60XX)}$$

$$d_w = \frac{1,35 \cdot 9,95}{0,6 \cdot 0,707 \cdot 1 \cdot 48,5} = 0,652 \text{ (7mm - E70XX)}$$