

As ligações soldadas apresentam a grande vantagem de simplificar as ligações. Em contrapartida elas exigem mão de obra qualificada, condições de execução controladas e necessidade de inspeção. De acordo com o processo fabril pode-se ter a quase totalidade das ligações de fábrica como sendo soldadas, ficando as ligações parafusadas para ligações de campo. Deve-se evitar a utilização de soldas nas ligações de campo devido às dificuldades de acesso ao local da soldagem, necessidade de andaimes, posições desfavoráveis ou inadequadas para soldagem, necessidade de proteção do local da solda contra vento e chuva, e dificuldade do controle de qualidade da solda.

Alguns fabricantes com processos produtivos automatizados dão preferências às ligações parafusadas, inclusive na fábrica. Mesmo nestes casos inúmeros elementos de ligações são soldados devido à complexidade que seria torná-los parafusados (por exemplo, placas de base de colunas, enrijecedores de alma de colunas, placas de topo de vigas, etc.).

As soldas devem ser indicadas nos desenhos de projeto. Detalhes como comprimentos e retornos devem ser indicados nos desenhos de fabricação.

De acordo com a NBR-8800 os processos de soldagem e as técnicas de execução de estruturas soldadas devem ser conforme a norma AWS D1.1 - Structural Welding Code da American Welding Society.

## 10.1 Processos de Soldagem

A soldagem de peças estruturais é feita por fusão. As superfícies a serem soldadas são fundidas e, nesse estado, com a adição de materiais provenientes de eletrodos, são ligadas por solda.

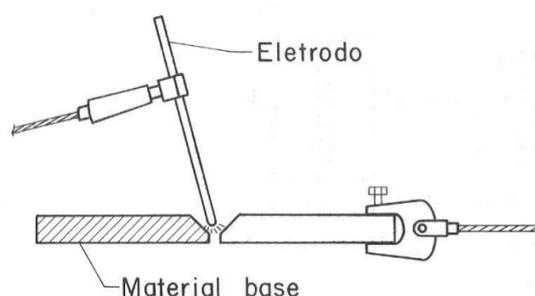


Figura 10.1: Solda por arco elétrico.

O processo de solda normalmente utilizado em estruturas metálicas é a Solda por Arco Elétrico, figura 10.1, onde, com a formação de um arco voltaico entre a peça e o eletrodo, o material base é aquecido a uma temperatura em torno de  $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de modo que as bordas se fundam. Ao mesmo tempo a ponta do eletrodo se funde, pingando sobre o material base, misturando-se com ele e preenchendo a junta de soldagem. Como o arco voltaico puxa o material fundido do eletrodo para o material base, podem ser executadas soldas na posição sobre cabeça.

O processo de soldagem por arco elétrico (arc welding) pode ser executado por 4 métodos diferentes:

**Solda com Eletrodo Revestido (SMAW = Shielded Metal Arc Welding):** esse método é um dos mais velhos, mais simples e mais versáteis processos de soldagem (figura 10.2). Ele também é conhecido

como Soldagem Manual com Eletrodo. Neste processo os eletrodos revestidos possuem uma camada espessa de revestimento que converte-se parcialmente num gás protetor e parcialmente em escória, os quais protegem o metal da solda de contaminação atmosférica e retardam o esfriamento da mesma.

Os eletrodos usuais são designados como E60XX ou E70XX, onde o número representa a tensão de ruptura do eletrodo (60 ksi ou 70 ksi, respectivamente); os X referem-se a fatores tais como posições de soldagem permitidas, tipos de revestimento, etc. Os eletrodos são fornecidos em varetas.

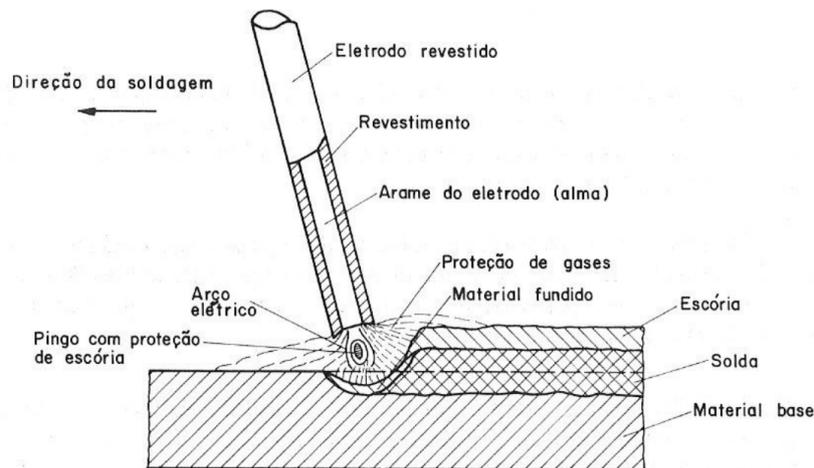


Figura 10.2: Solda com Eletrodo Revestido.

**Solda com Arco Submerso (SAW = Submerged Arc Welding):** nesse método o fluxo (material granular fusível) é depositado automaticamente na junta através de um tubo. O arame de solda não é revestido, sendo fornecido em rolos e introduzido automaticamente dentro do fluxo (figura 10.3). Durante a soldagem parte do fluxo se funde transformando-se numa escória protetora, e as bordas da junta se fundem, juntamente com o eletrodo que vai preenchendo a junta de solda. Este processo é normalmente executado em fábrica, utilizando equipamentos automáticos ou semiautomáticos.

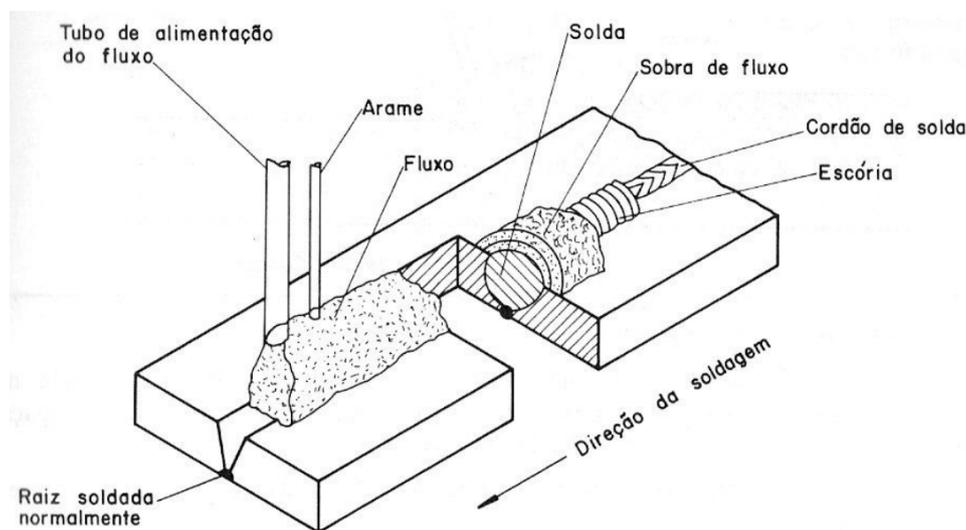


Figura 10.3: Solda com Arco Submerso.

A combinação do arame de solda e do fluxo granular é designada como FXXX-EXXX, onde o primeiro X depois do F é o primeiro dígito da tensão de ruptura do metal da solda (por exemplo, 7 para 70 ksi), o segundo X é uma letra que indica o tratamento térmico necessário (por exemplo, A para como soldado e P para tratamento térmico pós-soldagem) e o terceiro X indica a temperatura para a qual a resistência ao impacto do metal da solda é maior ou igual a 20 ft-lb (27 J). Quando o terceiro X é 6, por exemplo, significa que a resistência da solda é de pelo menos 20 ft-lb para uma temperatura de  $-60^{\circ}F$  ( $-51^{\circ}C$ ). Os 3 X que seguem a letra E indicam as propriedades do eletrodo.

**Solda com Proteção Gasosa (GMAW = Gás Metal Arc Welding):** neste método o arame de solda é alimentado continuamente. Através de uma proteção gasosa o material fundido é isolado do contato com o ar (figura 10.4). Em soldagem de estruturas metálicas utiliza-se normalmente o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) devido ao baixo custo deste gás. Este gás é ativo para altas temperaturas originando o termo MAG (metal active gás). Originalmente este método era usado somente com gás inerte, vindo daí o nome MIG (metal inert gás) com que este tipo de solda é também conhecido. As vantagens deste método são a alta velocidade de soldagem, a execução de solda sem poros e a possibilidade de grande penetração. A desvantagem é que esta solda possui um acabamento pior, apresentando mordeduras e respingos excessivos.

O material do eletrodo para soldagem de aços-carbono é um aço não-revestido, fornecido em rolos, designado como ER70S-X, para eletrodos com tensão de ruptura de 70 ksi.

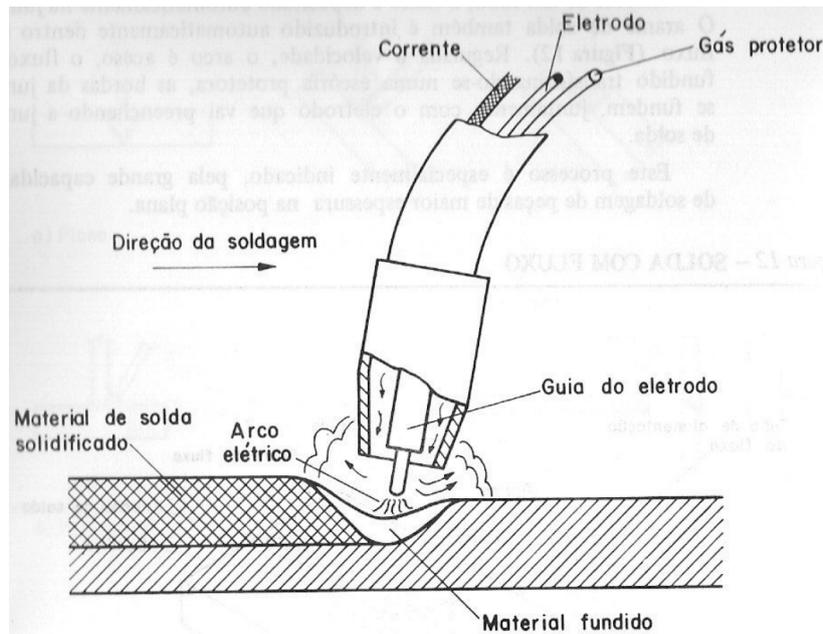


Figura 10.4: Solda com Proteção Gasosa.

**Solda com Arame Tubular (FCAW = Flux Cored Arc Welding):** este processo é semelhante ao GMAW exceto pelo fato que o arame de solda é tubular e que contém fluxo no seu núcleo (figura 10.5). O material do núcleo tem a mesma função que o revestimento do eletrodo na solda SMAW ou que o fluxo na solda SAW. O material do núcleo gera um gás protetor mas usualmente é injetado gás carbônico adicional no processo. O método FCAW tem-se revelado útil para soldas de campo em condições de temperaturas muito baixas bem como tem agilizado as soldas de campo.

Os eletrodos utilizados para solda FCAW são designados como E6XT-X ou E7XT-X, para tensões de ruptura de 60 ksi ou 70 ksi, respectivamente.

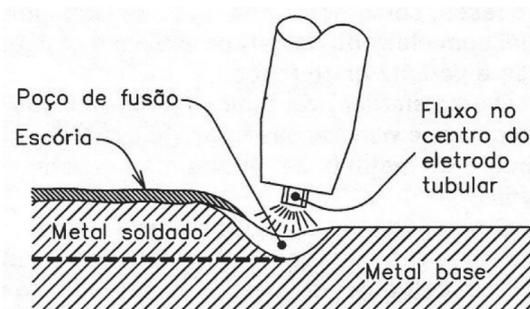


Figura 10.5: Soldas com Eletrodo Tubular.

## 10.2 Compatibilidade e resistência dos eletrodos

O material do eletrodo utilizado na soldagem de uma junta deve ser compatível com o metal base, ou seja, deve ter propriedades equivalentes às do metal base. A figura 10.6 reproduz a tabela 7 da NBR 8800, onde são apresentados os aços estruturais do metal base e seus respectivos metais de solda compatíveis.

	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)
<b>Grupo I</b>	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 <sup>e</sup> - E70XX-X	AWS A5.17 - F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX  AWS A5.23 <sup>e</sup> - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS)  AWS A5.28 <sup>e</sup> - 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 <sup>e</sup> - E6XTX-X, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
<b>Grupo II</b>	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) <sup>d</sup> NBR 5008 (CGR 500) <sup>d</sup> NBR 5008 (CGR 500A) <sup>d</sup> NBR 5920 (CFR 500) <sup>d</sup> NBR 5921 (CFR 400) <sup>d</sup> NBR 5921 (CFR 500) <sup>d</sup> 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 <sup>d</sup> A572 Grau 42 A572 Grau 50 A572 Grau 55 A992 A588 <sup>d</sup>	AWS A5.1 - E7015, E7016, E7018, E7028  AWS A5.5 <sup>e</sup> - E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 - F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX  AWS A5.23 <sup>e</sup> - F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	AWS A5.18 - ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (exceto -GS)  AWS A5.28 <sup>e</sup> - 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 <sup>e</sup> - E7XTX-X, E7XTX-XM
<b>Grupo III</b>	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 <sup>c</sup>	AWS A5.5 <sup>e</sup> - E8015-X, E8016-X, E8018-X	AWS A5.23 <sup>e</sup> - F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX	AWS A5.28 <sup>e</sup> - ER80S-XXX, E80C-XXX	AWS A5.29 <sup>e</sup> - E8XTX-X, E8XTX-XM

<sup>a</sup> Em juntas constituídas de metais-base de grupos diferentes, podem ser usados metais da solda compatíveis com o metal-base de maior resistência ou de menor resistência, devendo-se usar eletrodos de baixo hidrogênio para a segunda opção. O preaquecimento deve ser baseado no grupo de maior resistência.

<sup>b</sup> Quando for feito alívio de tensões nas soldas, o metal da solda não pode conter mais de 0,05 % de vanádio.

<sup>c</sup> As limitações da AWS D1.1 relativas à entrada de calor não se aplicam ao ASTM A913, graus 60 e 65.

<sup>d</sup> Podem ser necessários processos e materiais de soldagem especiais (por exemplo: eletrodos de baixa liga E80XX-X) para atender às características de resistência à corrosão atmosférica e de resistência ao choque do metal-base - ver AWS D1.1.

<sup>e</sup> Metais de solda dos grupos B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, B9, ou qualquer grau BXH, na AWS A5.5, A5.23, A5.28 e A5.29, não são pré-qualificados.

Figura 10.6: Compatibilidade do metal-base com o metal da solda.

Os valores da resistência mínima à tração do metal da solda,  $f_w$  são dados na tabela

Eletrodo	$f_w$ [MPa]
E60XX, F6XXX-EXXX, E6XT-X	415
E70XX, F7XXX-EXXX, ER70S-X, E6XT-X	485

### 10.3 Tipos de juntas soldadas

De acordo com a posição relativa das peças a serem soldadas existem cinco tipos básicos de juntas soldadas. Estas juntas estão representadas na figura 10.7 e a cada uma delas é associada uma letra de identificação, de acordo com a norma AWS D1.1.

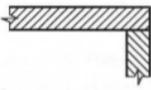
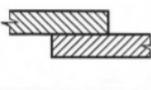
Tipo de Junta	 CÓDIGO
Topo (Butt Joint)	 
"T" (Tee Joint)	 
Canto (Corner Joint)	 
Sobreposta (Lap Joint)	 
Borda (Edge Joint)	 

Figura 10.7: Tipos de Juntas Soldadas.

**Junta Sobreposta:** esse é o tipo mais comum de junta, possuindo duas grandes vantagens: facilidade de montagem, pois as peças podem ser levemente deslocadas para acomodar pequenos erros de fabricação, e facilidade de ligação, pois as peças a serem conectadas não necessitam de nenhuma preparação especial em suas bordas. Em juntas sobrepostas utiliza-se solda de filete o que as torna apropriadas tanto para ligações de fábrica quanto para ligações de campo. Uma outra vantagem deste tipo de junta é a facilidade em executar ligações de espessuras diferentes. Na figura 10.8 tem-se alguns exemplos de juntas sobrepostas.

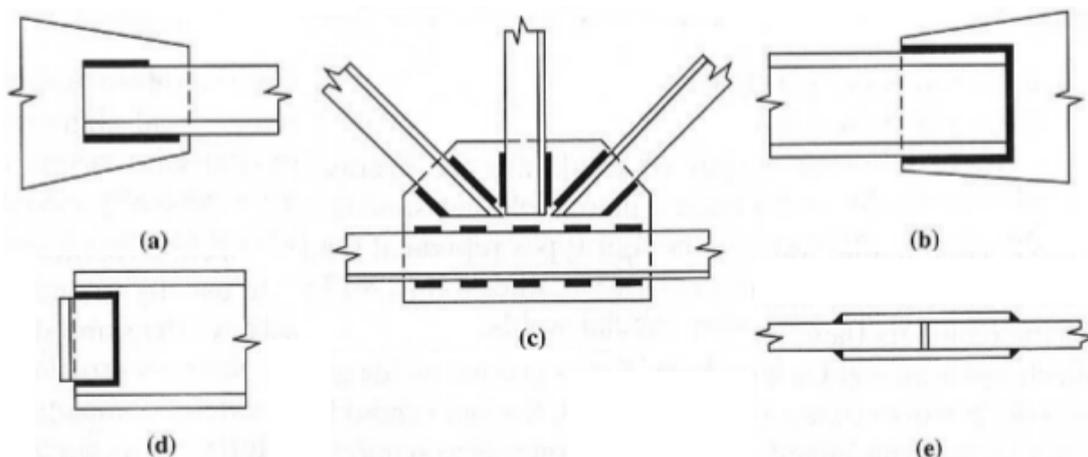


Figura 10.8: Juntas Sobrepostas.

**Junta de Topo:** essa junta é utilizada principalmente para unir as extremidades de chapas planas de mesma ou aproximadamente a mesma espessura. A principal vantagem deste tipo de junta é eliminar a excentricidade que apareceria numa junta sobreposta,

por exemplo. Quando utilizadas com solda de penetração total as juntas de topo minimizam o tamanho da ligação e possuem melhor aparência. Sua principal desvantagem consiste no fato de que as bordas a serem conectadas necessitam de uma preparação prévia especial (normalmente estas bordas devem ser chanfradas) e devem ser cuidadosamente alinhadas antes da soldagem. Este tipo de junta é recomendado para ser executado em fábrica onde o processo de soldagem pode ser melhor controlado;

**Junta T:** esse tipo de junta é utilizado para fabricar seções tais como perfis I ou H e perfis T, assim como para ligações de enrijecedores, consoles e demais peças que formam ângulos retos entre si. Este tipo de junta é especialmente útil na ligação de perfis compostos por tiras de chapas planas que podem ser unidas por soldas de filete ou soldas de entalhe;

**Junta de Canto:** essa junta é utilizada principalmente para formar perfis caixão soldados quadrados ou retangulares, utilizados em colunas e em vigas que precisam resistir esforços torcionais consideráveis;

**Junta de Borda:** as juntas de borda não costumam ser estruturais, sendo utilizadas para manter 2 ou mais placas alinhadas ou num determinado plano.

## 10.4 Tipos de solda

Os quatro tipos usuais de soldas são:

- Solda de filete;
- Solda de entalhe de penetração total;
- Solda de entalhe de penetração parcial;
- Solda de tampão (em furos e em rasgos).

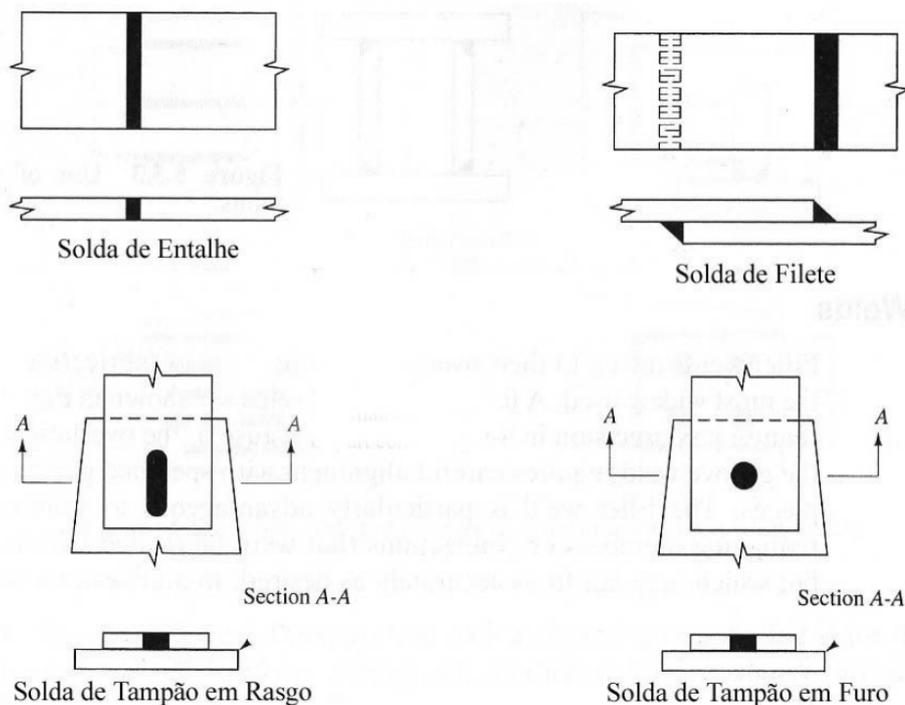


Figura 10.9: Tipos de Soldas.

O tipo de solda mais utilizado é a solda de filete. Para cargas leves a solda de filete é a mais econômica por não precisar de preparação no metal base.

Para cargas elevadas as soldas de entalhe se revelam mais eficientes, pois com elas consegue-se atingir a resistência do metal base facilmente.

A utilização de soldas de tampão é limitada à situações especiais onde não é prático utilizar soldas de filete ou de entalhe.

Se em uma mesma ligação forem usados dois ou mais tipos de solda (penetração, filete, tampão em furos ou rasgos), a resistência de cálculo de cada um desses tipos deve ser determinada separadamente e referida ao eixo do grupo, a fim de se determinar a resistência de cálculo da combinação. Todavia, esse método de compor resistências individuais de soldas não é aplicável a soldas de filete superpostas a soldas de penetração parcial, situação na qual se deve pesquisar a seção crítica da solda e do metal base.

De uma maneira aproximada os quatro tipos de solda representam a seguinte porcentagem nas ligações soldadas em estruturas metálicas: soldas de filete = 80 %, soldas de entalhe = 15 %, soldas de tampão e outras soldas especiais = 5 %.

Neste material apenas serão apresentadas as soldas de filete.

## 10.5 Simbologia

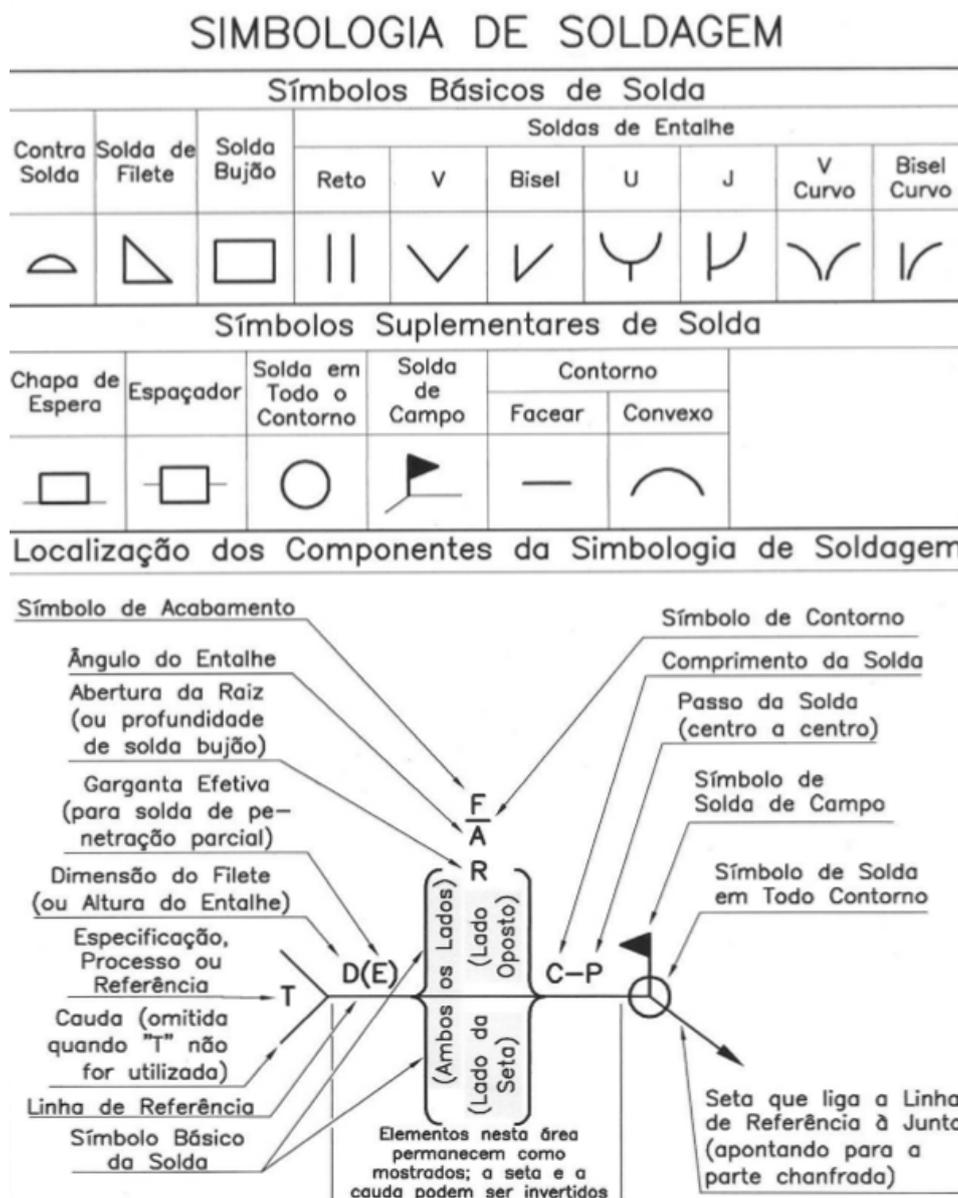


Figura 10.10: Simbologia de Soldagem.

Ao definir uma solda o calculista deve ter uma forma de informar ao projetista e ao fabricante qual o tipo e qual a dimensão da solda necessária. A necessidade de uma forma simples e precisa de comunicação entre o projeto e a fábrica levou à definição de símbolos básicos para representar graficamente as soldas

em estruturas metálicas. A AWS definiu símbolos padrões para representar as soldas, conforme indicado na figura 10.10. A forma de representação de solda definida pela AWS permite indicar o tipo, dimensão, comprimento e localização da solda, assim como instruções especiais.

A figura 10.16 ilustra alguns exemplos de solda de filete com a respectiva simbologia.

## 10.6 Solda de filete

As soldas de filete têm geralmente a forma de um triângulo isósceles reto. Normalmente os dois lados do triângulo são iguais e o ângulo ente eles é de  $90^\circ$ , porém para ligações inclinadas pode-se ter um ângulo agudo entre  $60^\circ$  e  $90^\circ$  ou um ângulo obtuso entre  $90^\circ$  e  $135^\circ$ .

Permite-se um afastamento de até 5 mm entre as peças a serem soldadas porém se este afastamento for maior do que 1,5 mm a dimensão da solda  $w$  deverá ser acrescida do valor do afastamento.

Para as soldas de filete utiliza-se a seguinte nomenclatura:

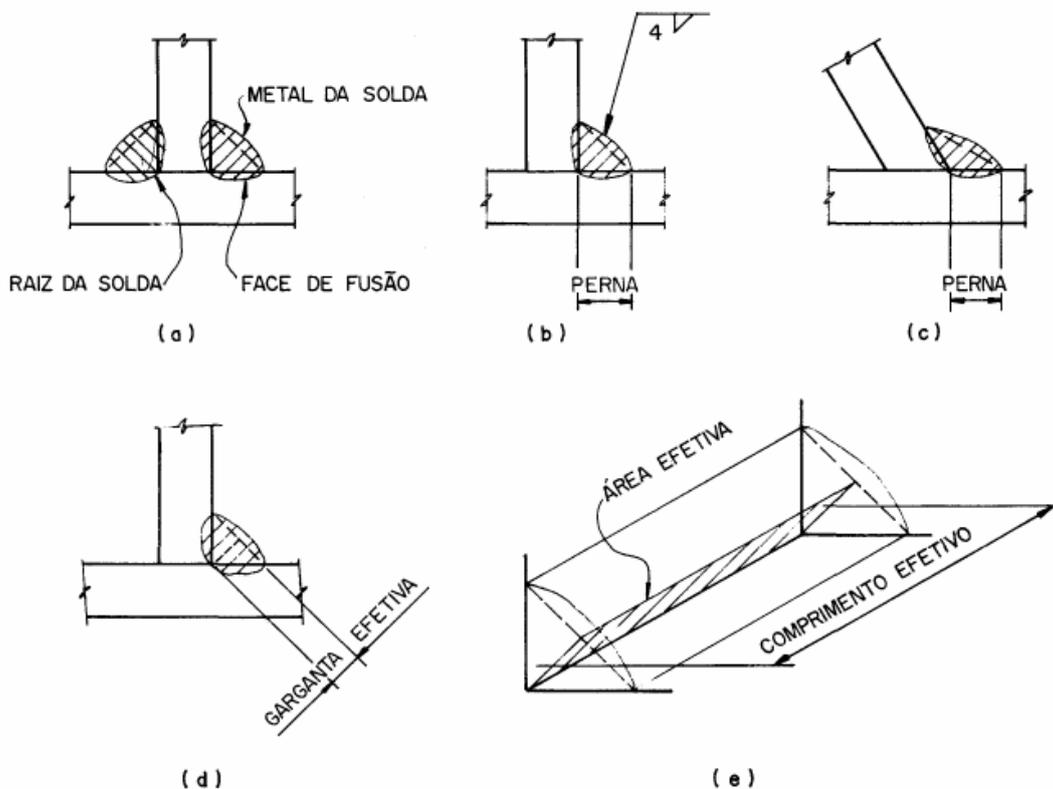


Figura 10.11: Nomenclatura de Solda de Filete.

**Face de fusão:** região da superfície original do metal base onde ocorreu a fusão do metal base e do metal da solda;

**Raiz da solda:** linha comum às duas faces de fusão;

**Perna do filete,  $w$ :** menor dos lados, medidos nas faces de fusão, do maior triângulo inscrito dentro da seção transversal de solda. A especificação de uma solda de filete é feita através da dimensão de sua perna;

**Garganta efetiva,  $t_w$ :** é a menor distância entre a raiz da solda e a face externa do triângulo inscrito. Para o caso usual (solda com lados iguais e com ângulo reto) a garganta da solda vale:

$$t_w = \frac{\sqrt{2}}{2}w$$

**Comprimento efetivo da solda,  $l_w$ :** é dado pelo comprimento da linha que liga os pontos médios das gargantas efetivas ao longo do filete, na maioria dos casos é igual ao comprimento total da solda,  $l_w = L_w$ . No caso de soldas longitudinais de

ligações de extremidade de elementos axialmente solicitados, o comprimento efetivo da solda é dado por:

$$l_w = 1,2L_w - 0,002 \left( \frac{L_w^2}{w} \right) \begin{cases} \geq 0,6 \\ \leq 1,0 \end{cases}$$

**Área efetiva da solda,  $A_w$ :** é a área considerada como de resistência da solda, sendo igual a:

$$A_w = t_w l_w$$

**Área do metal base,  $A_{MB}$ :** é a área resistente do metal base junto à solda, sendo igual a:

$$A_{MB} = l_w t$$

com  $t$  sendo a espessura do metal base na região considerada.

### 10.6.1 Limitações e disposições construtivas

#### Limitações no tamanho da perna

O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é função da parte menos espessa soldada. Para soldas de filete executadas com apenas um passe, os valores são dados abaixo:

Menor espessura do metal base na junta [mm]	$w_{min}$ [mm]
$t \leq 6,35$	3,0
$6,35 < t \leq 12,5$	5,0
$12,5 < t \leq 19,0$	6,0
$t > 19$	8,0

Além de um valor mínimo, a perna da solda de filete também deve respeitar um valor máximo quando feita ao longo de bordas. A determinação desse valor é dado da seguinte maneira:

Espessuras das bordas soldadas [mm]	$w_{max}$ [mm]
$t < 6,35$	$< t$
$t \geq 19$	$\leq t - 1,5$

#### Limitações do comprimento efetivo

O comprimento efetivo de uma solda de filete,  $l_w$ , dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, deve ser:

$$l_w > \begin{cases} 4w \\ 40 \text{ mm} \end{cases}$$

No caso de soldas de filete longitudinais em ligações de extremidade de chapas planas tracionadas com largura  $b$ , o comprimento efetivo das soldas de filete deve ser:

$$l_w > b$$

#### Limitações em ligações sobrepostas

O comprimento mínimo de sobreposição,  $l_{so}$ , em ligações sobrepostas, deve atender a:

$$l_{so} > \begin{cases} 8t_{min} \\ 25 \text{ mm} \end{cases}$$

Chapas ou barras, ligadas por superposição apenas com filetes transversais e sujeitas a solicitação axial, devem ter soldas de filete ao longo das extremidades, conforme ilustra a figura 10.12, exceto quando a deformação das partes sobrepostas for suficientemente contida, de modo a evitar abertura da ligação por efeito das solicitações de cálculo.

Para juntas por superposição nas quais uma das partes se estende além de uma borda sujeita a tensões de tração longitudinais, os filetes devem ser interrompidos a uma distância dessa borda não inferior ao tamanho da perna do filete,  $w$ . A figura 10.13 ilustra esse conceito.

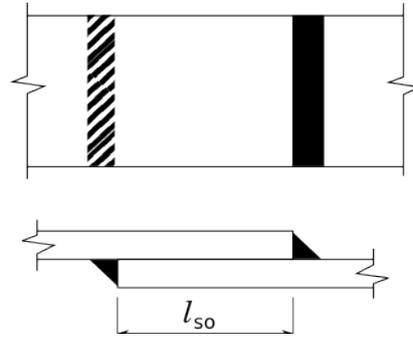


Figura 10.12: Ligação Soldada Sobreposta.

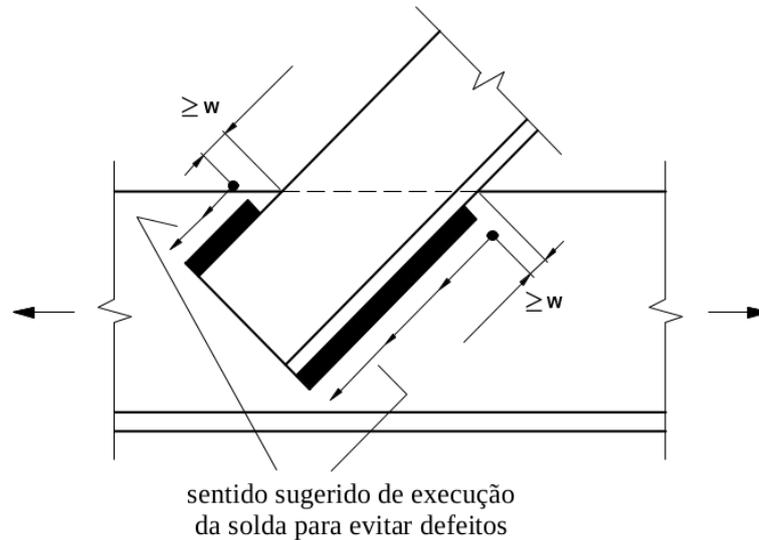


Figura 10.13: Filetes de solda próximos de bordas tracionadas.

### 10.6.2 Resistências

As soldas de filete podem estar solicitadas a tração,  $N_{t,Sd}$ , ou compressão,  $N_{c,Sd}$ , e ao cisalhamento,  $V_{Sd}$ . No entanto, para os esforços axiais, tração e compressão, a falha não ocorrerá na solda e sim no metal base, portanto basta verificar o metal base. Em relação ao cisalhamento a solda deve ser verificada assim como o metal base. As condições de segurança são:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,MB,Rd} \quad \text{ou} \quad N_{c,Sd} \leq N_{c,MB,Rd} \quad (10.1)$$

$$V_{Sd} \leq V_{w,Rd} \quad \text{e} \quad V_{Sd} \leq V_{MB,Rd} \quad (10.2)$$

nas quais:

$N_{MB,Rd}$  é a resistência do metal base a esforços axiais na região da solda;

$V_{w,Rd}$  é a resistência da solda ao cisalhamento;

$V_{MB,Rd}$  é a resistência do metal base ao cisalhamento na região da solda.

#### Resistência da solda ao cisalhamento

A resistência da solda de filete ao cisalhamento para um filete contínuo é dada por:

$$V_{w,Rd} = 0,6 \frac{A_w f_w}{\gamma_{w2}} \quad (10.3)$$

sendo:

$\gamma_{w2}$  é o coeficiente de ponderação de soldas, que vale:

- a) 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção;
- b) 1,15 para combinações excepcionais.

### Resistências do metal base

O metal base na região da solda deve ser verificado ao cisalhamento e ao esforço axial, tração ou compressão. A verificação é feita em função da área do metal base,  $A_{MB}$ , definida em função do tipo da solicitação da solda, na região da solda.

Os estados limites a serem verificados são o estado limite último (ELU) de escoamento e o estado limite último (ELU) de ruptura ou de flambagem no caso da compressão. Todos os estados limites aplicáveis devem ser verificados.

#### Elementos Tracionados

$$N_{t,MB,Rd} = \begin{cases} \frac{A_{t,MB}f_y}{\gamma_{a1}} & \text{para ELU de escoamento} \\ \frac{C_t A_{t,MB}f_u}{\gamma_{a1}} & \text{para ELU de ruptura} \end{cases} \quad (10.4)$$

sendo o coeficiente  $C_t$  definido em 4.3.3 e  $A_{t,MB}$  a área do metal base tracionada.

#### Elementos Comprimidos

$$N_{c,MB,Rd} = \frac{A_{c,MB}f_y}{\gamma_{a1}} \quad \text{para ELU de escoamento somente quando } \frac{KL_b}{r} \leq 25 \quad (10.5)$$

sendo  $A_{c,MB}$  a área do metal base comprimida.

No caso do ELU de flambagem, quando  $\frac{KL_b}{r} > 25$ , os elementos devem ser dimensionados como barras comprimidas.

#### Elementos submetidos ao cisalhamento

$$V_{MB,Rd} = \begin{cases} \frac{0,6A_{v,MB}f_y}{\gamma_{a1}} & \text{para ELU de escoamento} \\ \frac{0,6C_t A_{v,MB}f_u}{\gamma_{a2}} & \text{para ELU de ruptura} \end{cases} \quad (10.6)$$

sendo o coeficiente  $C_t$  definido em 4.3.3 e  $A_{v,MB}$  a área do metal base sujeita ao cisalhamento.

A determinação das áreas do metal base depende do formato e da resultante dos esforços na ligação. A figura 10.14 ilustra uma ligação simples, com resultante de tração e identificação das regiões tracionadas e cisalhadas.

A área do metal base tracionada é calculada como  $A_{t,MB} = t_1 l_w$  e a área do metal base cisalhada como  $A_{v,MB} = 2t_2 l_w$ , sendo  $l_w$  o comprimento da solda na região.

## 10.7 Colapso por rasgamento

Alguns tipos de ligação podem apresentar a possibilidade de colapso por rasgamento ao longo de seções críticas. 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 10.15). A força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento é dada por:

$$F_{r,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,6f_y A_v + C_{ts} f_u A_t) \leq F_{Sd} \quad (10.7)$$

na qual:

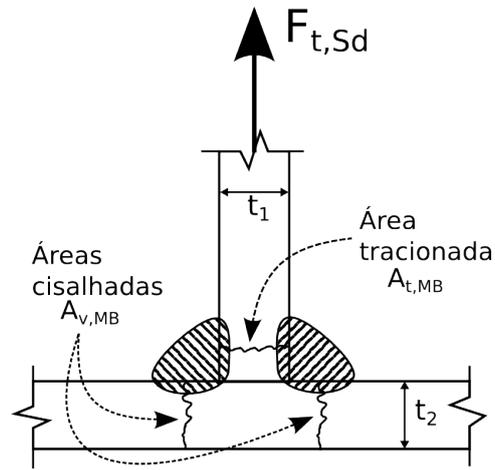
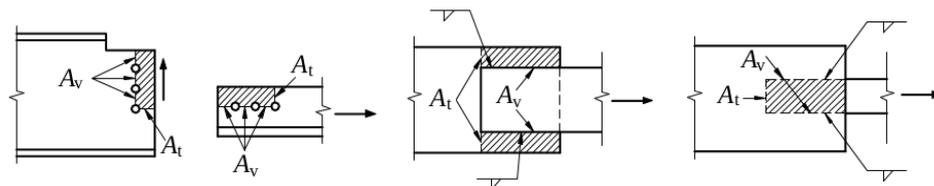


Figura 10.14: Identificação das áreas do metal base para uma ligação simples com resultante de tração.

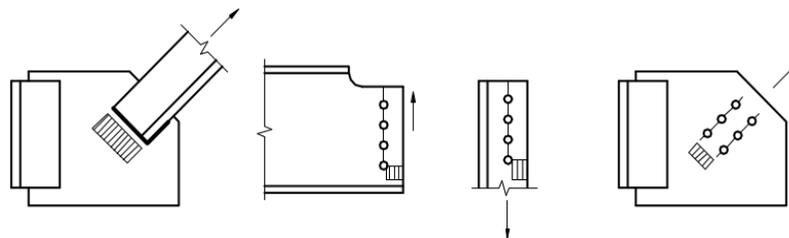
$A_v$  é a área sujeita a cisalhamento;

$A_t$  é a área sujeita à tração;

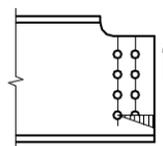
$C_{ts}$  é igual a 1,0 quando a tensão de tração na área líquida for uniforme, e igual a 0,5 quando for não-uniforme.



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



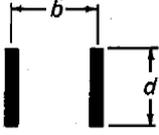
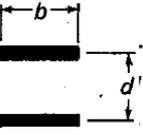
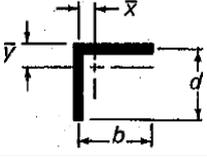
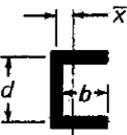
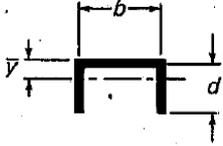
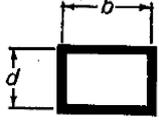
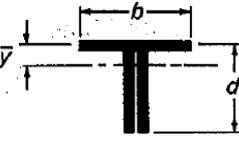
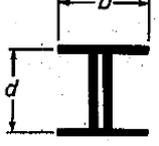
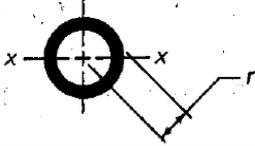
(b) Situações típicas nas quais  $C_{ts} = 1,0$



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

Figura 10.15: Colapso por Rasgamento.

Tabela 10.1: Propriedades das soldas tratadas como linha

Seção	Posição do C.G.	Módulo da Seção	Momento de inércia polar
1 	$\bar{y} = \frac{d}{2}$	$W_x = \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{d^3}{12}$
2 	$\bar{x} = \frac{b}{2}$ $\bar{y} = \frac{d}{2}$	$W_x = \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{d(2b^2 + d^2)}{6}$
3 	$\bar{x} = \frac{b}{2}$ $\bar{y} = \frac{d}{2}$	$W_x = bd$	$I_p = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$
4 	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$W_x = \frac{4bd + d^2}{6}$	$I_p = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
5 	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = \frac{d}{2}$	$W_x = bd + \frac{d^2}{2}$	$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
6 	$\bar{x} = \frac{b}{2}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$W_x = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
7 	$\bar{x} = \frac{b}{2}$ $\bar{y} = \frac{d}{2}$	$W_x = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
8 	$\bar{x} = \frac{b}{2}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$W_x = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2d}$
9 	$\bar{x} = \frac{b}{2}$ $\bar{y} = \frac{d}{2}$	$W_x = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 3b^2 + d^3}{6}$
10 		$W_x = \pi r^2$	$I_p = 2\pi r^3$

SIGNIFICADO	REPRES. EM PERFIL	REPRES. EM PLANTA
	—	

Figura 10.16: Exemplos de representação gráfica de soldas de filete.