

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS - CEFET-MG**

**- APOSTILA -  
TECNOLOGIA DA SOLDAGEM**

**Profa. Ivanilza Felizardo, Dra.  
Versão 02/2016 - 03/08**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEM - CAMPUS II**

---

## 1. FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM

---

### Tipos de processos de união

- Por rebite e parafuso
- Colagem
- Brasagem
- Soldagem

### Classificação dos processos de união (Diferenciados pela tipo de ligação)

- **Forças macroscópicas**  $\Rightarrow$  Rebite e parafusos
  - Não há formação de ligações químicas entre as partes a serem unidas.
  - A resistência da junta é dada pela resistência ao cisalhamento do parafuso ou rebite mais as forças de atrito entre as superfícies de contato.
- **Forças microscópicas**
  - Há formação de ligações químicas (ligações metálica ou de Van der Waals) entre as partes a serem unidas.
  - A união é conseguida pela aproximação dos átomos ou moléculas das peças a serem unidas, podendo utilizar um material intermediário adicional à junta.

---

## Colagem X Brasagem X Soldagem

---

### Material de Base x Material de Adição



### Terminologias

- Peças a serem unidas: material de base ou metal de base (MB).
- Material adicionado à junta: material de adição ou metal de adição (MA).
- Junta, após ser soldada ou brasada: zona fundida (ZF).

### Fusão

- Brasagem (regra geral):  *fusão apenas do material de adição.*
  - Soldabranda: temperatura de fusão do material de adição utilizado *abaixo* de 450°C e não exceder a temperatura solidus do material de base.
  - Brasagem ou soldabrasagem: temperatura de fusão do material de adição utilizado *acima* de 450°C e não exceder a temperatura solidus do material de base.
- Soldagem:  *fusão do material de base e do material de adição* (se utilizado).
- Colagem: MA = material adesivo (existe um processo de cura do MA).

## Solubilidade X Diluição

**Solubilidade:** capacidade de uma substância se misturar a outra, formando uma mistura homogênea. Existe solubilidade na fase sólida e solubilidade na fase líquida.

**Diluição:** Parcela do material de base que entra na composição do metal de solda.

diluição = massa fundida do material de base / massa total do cordão de solda \* (100)%

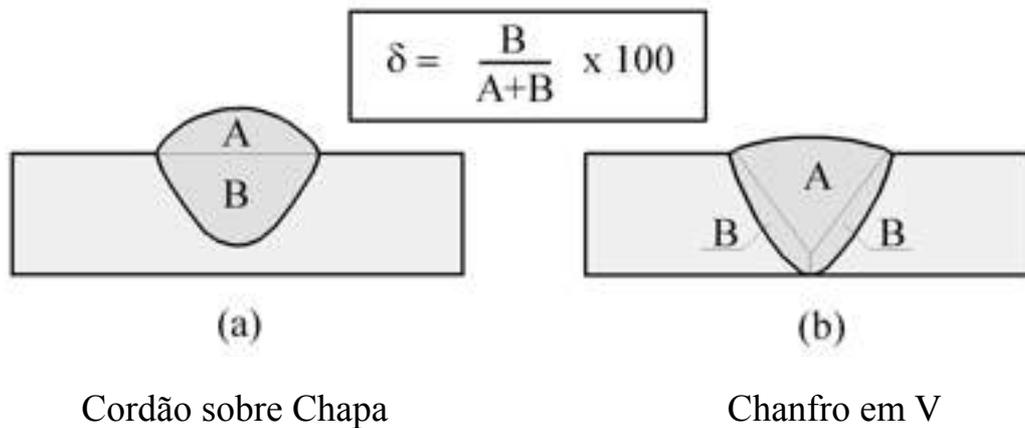


Figura 1.1 – Diluição numa junta soldada.

## Colagem X Brasagem X Soldagem

### Solubilidade X Diluição

## Conceito de SOLDAGEM

“Processo de união de duas ou mais peças metálicas ou não metálicas...”.

↳ “Processo de união de materiais...”.



**Figura 1.2** – Vista transversal de um cordão de solda sobre chapa.

“Operação que visa à união de materiais, assegurando na junta a continuidade das propriedades químicas e físicas, pela da fusão e diluição dos materiais de base e de adição envolvidos no processo”.

“Processo de união de materiais pela coalescência localizada, produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão e/ou material de adição”.

“Operação que visa à união de materiais pela da aplicação de **fusão** e/ou **pressão**”



### **Processo de soldagem por fusão**

“A energia é aplicada com o objetivo de fundir o material de base, a *solubilidade se processa na fase líquida*”.

### **Processo de soldagem por pressão**

“A energia é aplicada com o objetivo de provocar uma tensão no material capaz de produzir a *solubilidade na fase sólida*”.

---

## Conceito de SOLDAGEM

---



**Assegurar na junta a continuidade das propriedades químicas e físicas**



**É indispensável que ocorra a solubilidade**



**Requer energia**

---

"Soldagem é um processo de união de materiais, mais especificamente, união de metais e polímero. Na soldagem, a união é obtida pela aproximação dos átomos (nos metais) ou moléculas (nos polímeros) à distâncias suficientemente pequenas para que ligações químicas sejam formadas, em particular, ligações metálica (nos metais) e de Van der Waals (nos polímeros).

Diferentemente dos demais processos de união (parafusagem, rebiteagem, colagem e brasagem), na soldagem ocorre uma mistura dos materiais base e de adição (quando utilizado). Essa mistura, tecnicamente conhecida por solubilidade, pode ocorrer na fase sólida (nos processos de soldagem por pressão) ou na fase líquida (nos processos de soldagem por fusão).

Procura-se com a soldagem que as forças das ligações químicas na junta soldada sejam de natureza similar às atuantes nos próprios materiais a serem soldados. Além de que após a soldagem, a junta preserve, ao máximo, as características físicas e químicas dos materiais base.

Os processos de soldagem podem ser utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas industriais. E ainda na deposição de materiais sobre uma superfície, nesse caso, para recuperar partes desgastadas ou para a formação de um revestimento característico."

---

## 2. FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM

### Origem das fontes de energia para soldagem

- Energia química
- Energia radiante
- Energia mecânica
- Energia elétrica

### Fonte de Energia Química

Utiliza o calor gerado por reações químicas (todo material possui energia química armazenada em seu interior).

### Tipos de transformações químicas dos materiais

- Combustão ⇒ **SOLDAGEM OXIGÁS**
- Interação entre metais e soluções ⇒ **SOLDAGEM POR ALUMINOTERMIA.**

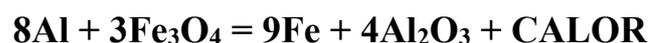
### Combustão: PROCESSO DE SOLDAGEM OXIGÁS

- A energia química armazenada nos combustíveis é liberada na combustão. O combustível reage com o oxigênio produzindo água e dióxido de carbono e liberando parte da energia armazenada nas ligações químicas.



### Interação entre metais e soluções: SOLDAGEM POR ALUMINOTERMIA

- Reação do alumínio com um óxido metálico dando como resultado o metal envolvido e o óxido de alumínio, com liberação de calor.



**PROCESSOS DE SOLDAGEM POR FUSÃO**

## Fonte de Energia de Alta Intensidade

---

Utiliza o calor gerado quando o material sofre um bombardeamento eletrônico, podendo ser de elétrons ou de fótons

**SOLDAGEM A LASER** (bombardeamento de fótons)  
**SOLDAGEM POR FEIXE DE ELÉTRONS** (bombardeamento de elétrons)



**PROCESSOS DE SOLDAGEM POR FUSÃO**

---

## Fonte de Energia Mecânica

---

Utiliza o calor produzido a partir de movimentos mecânicos. Utiliza a dispersão ou ruptura dos filmes existentes sobre as superfícies, realizando a união sob pressão.



**PROCESSOS DE SOLDAGEM POR PRESSÃO - NA FASE SÓLIDA**



**SOLDAGEM POR PRESSÃO A QUENTE**  
**SOLDAGEM POR PRESSÃO A FRIO**  
**SOLDAGEM POR EXPLOSÃO**  
**SOLDAGEM POR ULTRA-SOM**  
**SOLDAGEM POR FRICÇÃO**  
**SOLDAGEM POR DIFUSÃO**  
**SOLDAGEM POR FORJAMENTO**  
**SOLDAGEM POR LAMINAÇÃO**

## Fonte de Energia Elétrica

---

Principal fonte de energia utilizada na soldagem.

### ➤ Soldagem por Resistência Elétrica (Pressão e Fusão)

↳ Utiliza o calor produzido pela passagem da corrente elétrica num condutor.



**Efeito Joule ( $I^2R$ )**



**SOLDAGEM A PONTO  
SOLDAGEM POR COSTURA  
SOLDAGEM POR PROJEÇÃO  
SOLDAGEM POR CENTELHAMENTO**

### ➤ Soldagem a Arco Elétrico

- Arco elétrico consiste de uma descarga elétrica entre dois eletrodos que é sustentada através de um gás ionizado a alta temperatura chamada plasma.

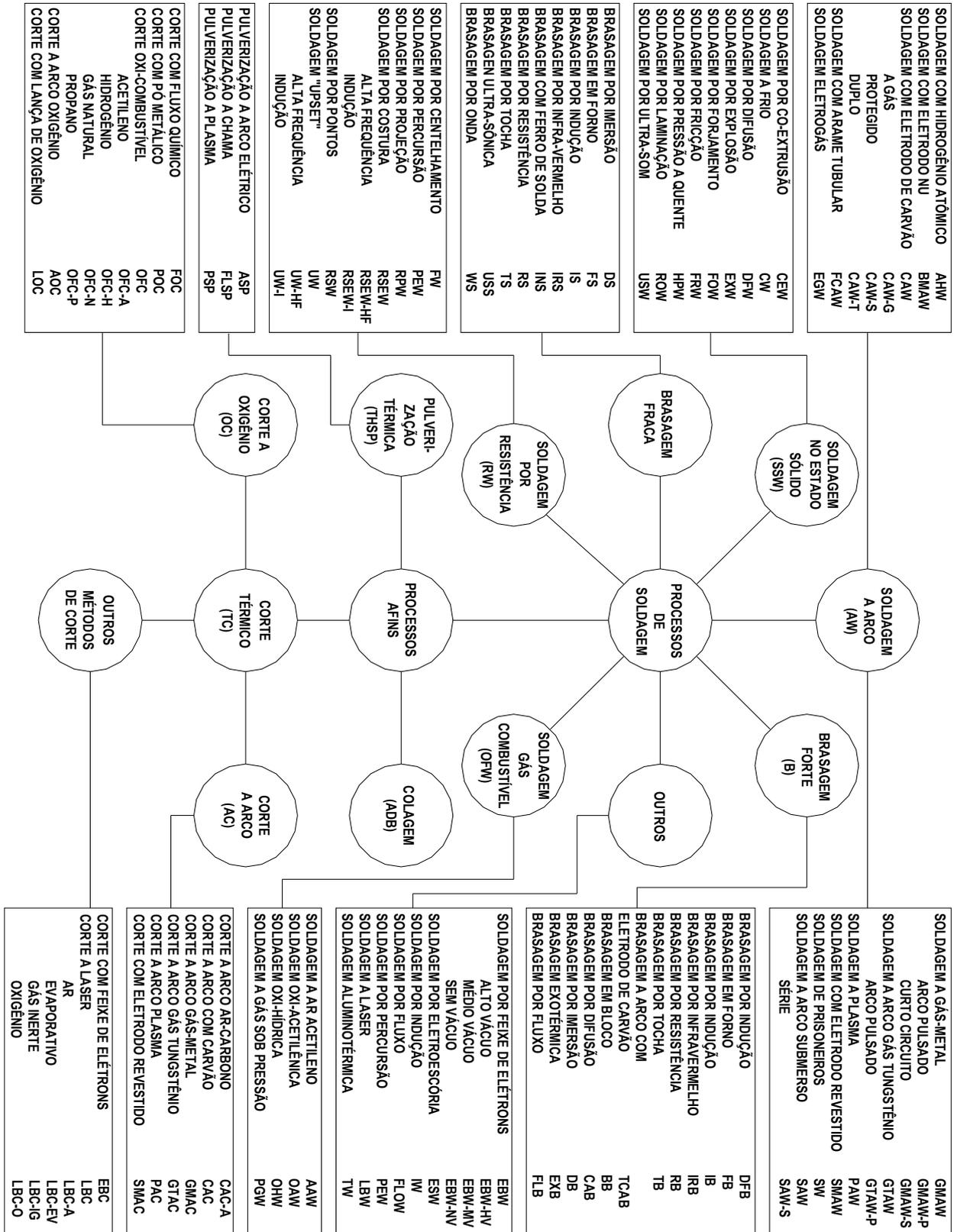


**SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO  
SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR  
SOLDAGEM COM ARCO SUBMERSO  
SOLDAGEM A PLASMA  
SOLDAGEM MIG/MAG  
SOLDAGEM TIG**



### 3. PROCESSOS DE SOLDAGEM E PROCESSOS AFINS

De acordo com a AWS (American Welding Society):



## 4. PROCESSOS DE SOLDAGEM POR FUSÃO A ARCO ELÉTRICO

**ARCO ELÉTRICO:** “descarga elétrica controlada entre dois eletrodos, sustentada por um gás ionizado a alta temperatura chamado plasma, produzindo energia térmica suficiente para a fusão localizada do material de base e de adição (se existir)”.

- SMAW Shielded Metal Arc Welding (eletrodo revestido);
- SAW Submerged (arco submerso);
- FCAW Flux Cored Arc Welding (arame tubular);
- GMAW Gas Metal Arc Welding (arame sólido);
- GTAW Gas Tungsten Arc Welding (eletrodo de tungstênio, TIG);
- PAW Plasma Arc Welding (Plasma).



## 5. VARIÁVEIS DE SOLDAGEM

---

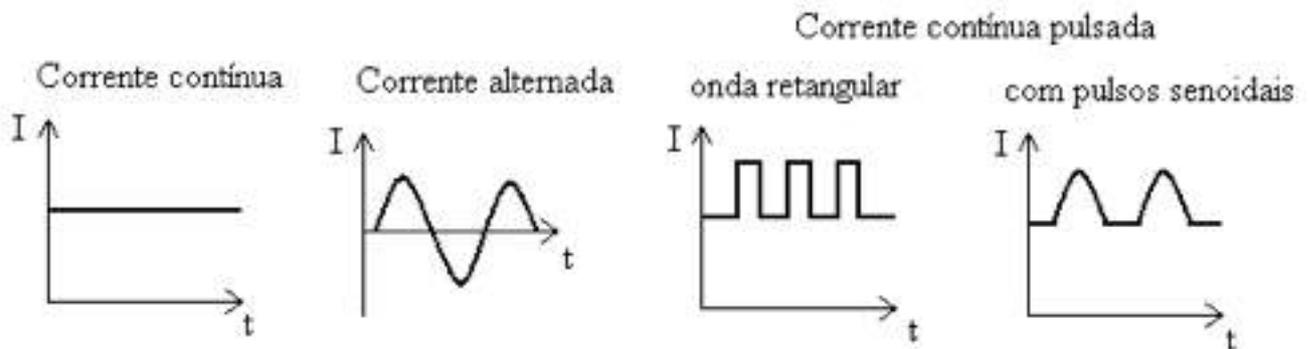
- **Material de base** (composição química) - MB
- Espessura do material de base
- Tipo de junta
- Tipo de chanfro
- Posição de soldagem
  
- Material de adição (eletrodo/arame)
- Diâmetro do material de adição
- Proteção por fluxo (composição do fluxo/revestimento)
- Proteção gasosa (tipo e vazão do gás)
  
- Processo de soldagem / Máquina de soldagem / Polaridade
  
- **Corrente de soldagem (tipo e magnitude)**  $\Rightarrow$  fusão do arame/eletrodo
- Tensão do arco elétrico  $\Rightarrow$  Comprimento do arco elétrico
- Velocidade de soldagem
  
- **Sequência de soldagem**
- **Tratamento térmico e/ou mecânico antes (pré-), durante, após (pós-) a soldagem**

## 6. CORRENTE DE SOLDAGEM

- Quando um gás se ioniza, torna-se condutor de eletricidade. A soldagem a arco elétrico se baseia no uso do calor gerado pela corrente elétrica passando por um gás ionizado.
- A corrente elétrica é um fluxo de partículas (positivas, negativa ou ambas), portadoras de carga elétrica. Para que haja o fluxo dessas cargas elétricas é necessário que exista uma diferença de potencial elétrico.
- Cargas elétricas de mesmo sinal (+ ou -) se repelem e as de sinal contrário se atraem
  - POLARIDADE.

### TIPOS DE CORRENTE APLICADA À SOLDAGEM

\* Corrente Contínua (CC) ou Corrente Alternada (CA). Sendo que a corrente contínua pode ser constante ou pulsada



#### ⇒ Corrente contínua (CC)

- Pode ser definida como a que se obtém a partir do estabelecimento de uma diferença de potencial entre dois terminais (pólos) cujas polaridades são invariáveis no tempo. A corrente assim obtida tem um único sentido de percurso. Quando a intensidade da mesma é invariável no tempo, esta é chamada de corrente contínua constante.

#### ⇒ Corrente contínua pulsada

- Quando a intensidade da corrente contínua varia periodicamente no tempo. Esta corrente pode apresentar uma variedade de formas de pulsação: retangular ou senoidal, por exemplo.

#### ⇒ Corrente alternada (CA)

- Pode ser definida como a que se obtém a partir do estabelecimento de uma diferença de potencial elétrico entre dois terminais, cuja polaridade é alternadamente positiva e negativa. O sentido das partículas de carga, íons e elétrons, numa tal corrente, muda a cada alteração de polaridade. A forma mais comum de corrente alternada é a senoidal completa, isto se deve ao fato dela ter origem nas características elétricas dos geradores utilizados para produzir a energia.

## 7. POLARIDADE EM SOLDAGEM



### CONSEQUÊNCIAS DA POLARIDADE

#### ⇒ Soldagem com CC

- Os pólos do arco não se comportam de forma igual.

A zona catódica corresponde ao pólo negativo. É de onde partem os elétrons e para onde se dirigem os íons positivos. Os elétrons livres do cátodo devem passar à coluna do arco, para que fique garantida a continuidade da corrente. Isto acontece fundamentalmente de três formas distintas e simultâneas:

- a) Por emissão termiônica, que ocorre devido ao fato dos íons acelerados na zona catódica atingirem o cátodo, levando-o à incandescência (emissão termiônica é quando um metal é conectado a um pólo energizado de uma fonte de energia elétrica e submetido a um campo elétrico, passa a emitir elétrons quando se torna incandescente);
- b) Devido à ação do campo elétrico que, por ter aí alto valor ( $10^6$  volts/cm), é capaz de arrancar elétrons do cátodo;
- c) Por reflexão de íons neutralizados, que em cada choque roubam elétrons.

Na zona anódica (pólo positivo, para onde se dirigem os elétrons), imediatamente diante da sua superfície, há uma corrente pura de elétrons, já que aquele não pode emitir íons. A ionização se dá de suas formas:

- a) Por efeito da alta temperatura;
- b) Por choque dos elétrons que se dirigem ao ânodo.

Teoricamente, o bombardeio a que os elétrons sujeitam o anodo deve ser mais eficiente do que o bombardeio dos íons no cátodo, pelas seguintes razões:

- a) A energia cinética (quantidade de energia devido ao movimento dos elétrons) de cada elétron é  $M/m$  vezes maior que a de cada íon, sendo  $M$  a massa do íon e  $m$  a massa do elétron;
- b) O número de elétrons livres geralmente é maior que o número de íons livres;
- c) A emissão termiônica aumenta ainda mais o número de elétrons que atingem o anodo (a emissão termiônica do anodo não é considerada por que a força eletrostática a impede);
- d) O forte campo elétrico que existe junto ao catodo arranca elétrons adicionais deste, aumentando ainda mais o número de elétrons que atingem o anodo;
- e) A evaporação de elétrons do cátodo consome energia, enquanto que a chegada no anodo se efetua com a entrega de energia.

Assim, torna-se evidente que os fenômenos físicos que ocorrem nos pólos de um arco voltaico são diferentes. De fato, com arco entre dois eletrodos permanentes e iguais, verifica-se que a temperatura do anodo é maior que a do catodo. Por este motivo, normalmente na soldagem com **eletrodo não consumível** (soldagem TIG), o **eletrodo é conectado ao pólo negativo** (catodo) enquanto que a peça a ser soldada é conectada ao pólo positivo (anodo). Na soldagem com **eletrodo consumível** (SMAW, GMAW, FCAW), ocorre o contrário, **o eletrodo é conectado ao pólo positivo** (anodo), enquanto a peça é conectada ao pólo negativo (catodo).

### ⇒ Soldagem com CA

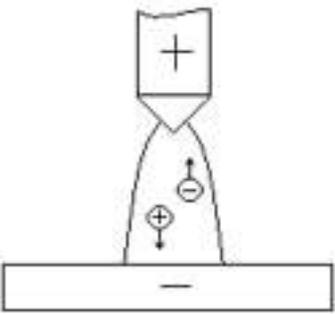
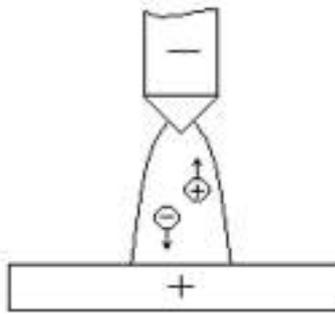
Em um arco alimentado com corrente alternada, não se tem uma polaridade determinada, já que os eletrodos (eletrodo e a peça) permutam sua polaridade de acordo com a frequência da corrente. No caso de uma corrente alternada de 60 hertz, têm-se 120 inversões de polaridade por segundo.

Com essa alternância os pólos ora recebem choques de elétrons, ora choques de íons, resultando numa tendência de equalização da energia absorvida por ambos os pólos. Quando ao aspecto visual, não há quase diferença entre um arco de corrente contínua e um arco de corrente alternada, mas há uma maior dificuldade na manutenção de um arco em corrente alternada. Isto se explica considerando que a tensão, em cada ciclo, passa de um valor positivo a um valor negativo e, bem próximo ao zero, não há tensão suficiente para sustentar o arco. Por isso, é mais difícil acender um arco de corrente alternada bem, como mantê-lo. Para corrigir a instabilidade do arco é preciso:

- a) Trabalhar com arco mais curto;
- b) Usar tensões mais elevadas;
- c) Usar eletrodos concebidos para CA;

- d) Aumentar a frequência da corrente ou sobrepor à corrente normal uma outra de alta frequência, alta tensão e baixa intensidade.

Devido ao elevado custo do equipamento de soldagem com corrente alternada, seu uso é restrito, sendo mais utilizado no processo TIG.

| Corrente contínua polaridade reversa   | Corrente contínua polaridade direta  |
|--|--|
|  <p data-bbox="151 929 790 1019">DCRP – Direct Current Reverse Polarity<br/>DCEP – Direct Current Electrode Positive</p> <p data-bbox="151 1052 582 1108"><b>Calor aplicado no eletrodo</b></p> <p data-bbox="422 1142 534 1198"><b>CC+</b></p> |  <p data-bbox="821 929 1492 1019">DCSP – Direct Current Straight Polarity<br/>DCEN – Direct Current Electrode Negative</p> <p data-bbox="821 1052 1197 1108"><b>Calor aplicado na peça</b></p> <p data-bbox="1117 1142 1212 1198"><b>CC-</b></p> |

## EFEITO DA POLARIDADE NA MORFOLOGIA DA SOLDA

**Observação:** É muito comum encontrar na literatura a seguinte frase:

“Com eletrodo consumível, o **mais comum** é obter um maior consumo do eletrodo quando ele está conectado pólo negativo da máquina e obter maior fusão do metal de base quando o eletrodo está conectado ao pólo positivo da máquina”.

*Cuidado com esta frase...*

A composição química do material de adição influencia os resultados:

- Para eletrodos revestidos comerciais E6013, o consumo do eletrodo na polaridade **positiva** é **menor** que na polaridade **negativa**, enquanto que para eletrodos E7018, o consumo na polaridade **positiva** é **maior** que na polaridade **negativa**.

## 8. ARCO ELÉTRICO NA SOLDAGEM

### Fonte de calor mais utilizada na soldagem de materiais por fusão

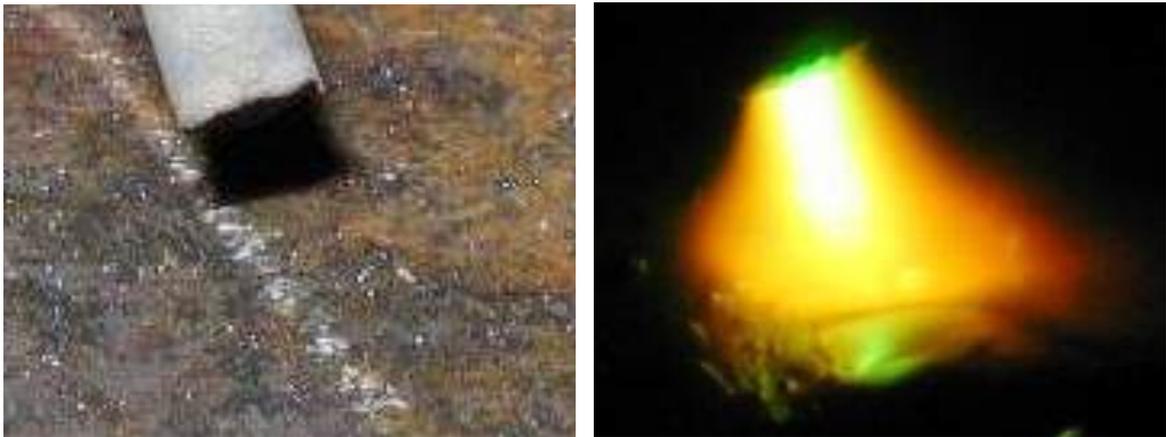
- Concentração adequada de energia.
- Facilidade de obtenção.
- Baixo custo relativo ao equipamento.
- Níveis aceitáveis de riscos a saúde.



## ARCO ELÉTRICO

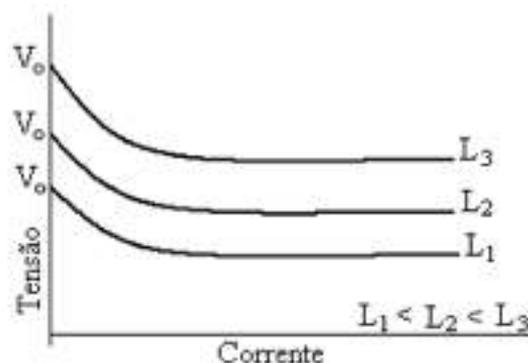
- As temperaturas no arco elétrico podem variar de 5.000 a 30.000 K.
- Consequência: a matéria passa a existir no seu quarto estado denominado plasma, que é composto por um gás altamente ionizado e eletricamente neutro.

“Consiste de uma descarga elétrica controlada entre dois eletrodos, que é sustentada por um gás ionizado a alta temperatura chamado plasma, produzindo energia térmica suficiente para a fusão localizada do metal de base e de adição (se existir)”.



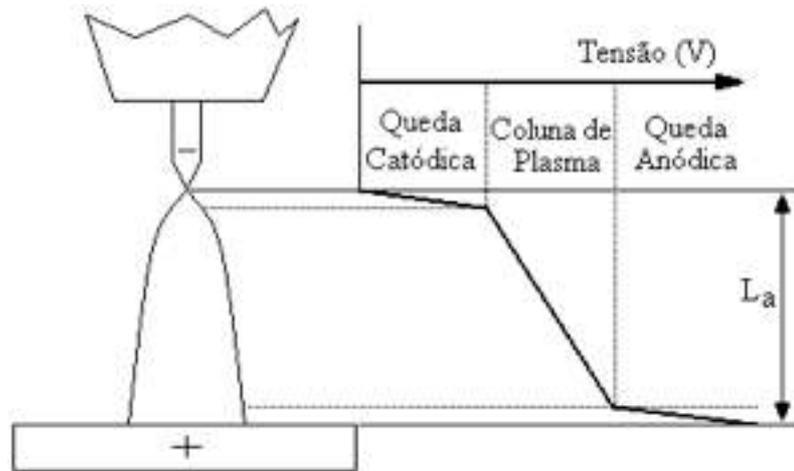
*Eletrodo revestido sem e com a presença do arco elétrico*

Para se obter um arco elétrico é preciso que o eletrodo e a peça a ser soldada estejam conectados a uma **fonte de energia elétrica**. Com isto, aparece um **diferencial de potencial** entre o eletrodo e a peça a soldar: estes ficam energizados. Isto significa que há uma tensão elétrica entre eles (na prática esta tensão varia de 15 a 90 volts), chamada de tensão em vazio ( $V_0$ ): tensão sem corrente elétrica. Enquanto houver um espaço entre o eletrodo e a peça não haverá corrente passando por eles, visto que o ar funciona como isolante elétrico. Para iniciar o arco, basta encostar o eletrodo na peça e isto ocasiona, imediatamente, uma **queda de tensão**. A variação da tensão no arco elétrico com a corrente de soldagem é conhecida como **curva estática do arco elétrico**.



*Curva característica do arco elétrico*

## PERFIL ELÉTRICO DO ARCO



*Perfil elétrico do arco*

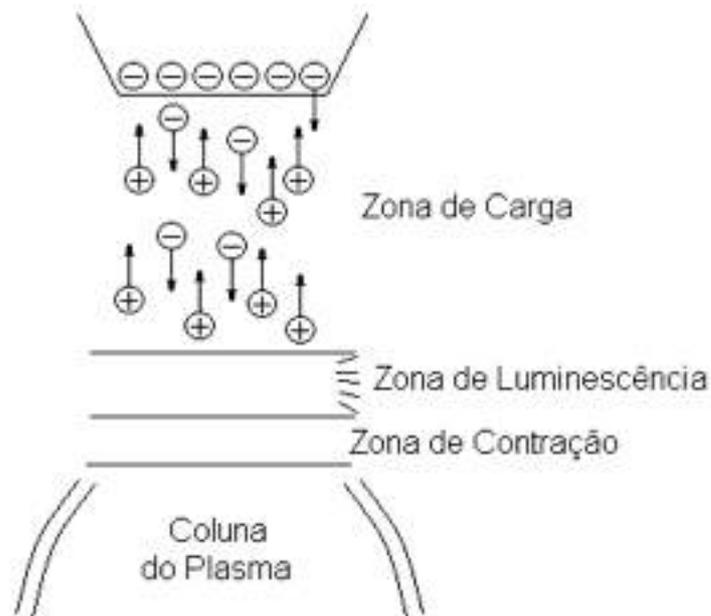
### ⇒ Região Catódica

- Região extremamente importante para a existência do arco.
- É nesta região que é gerada a maioria dos elétrons responsáveis pela condução da corrente elétrica no arco.
- A estabilidade do arco depende muito desta região.
- É a região mais problemática, sendo responsável por complicados mecanismos, nem todos completamente entendidos.
- Caracterizada por um estado muito afastado do equilíbrio.
- Subdividida em três regiões:
  - Zona de carga ⇒ queda catódica;
  - Zona de luminescência;
  - Zona de contração.

Na zona de carga, ocorre um elevado gradiente de potencial o qual acelera os elétrons saindo do cátodo e, por outro lado, atrai os íons positivos para o cátodo. Apesar de ser uma zona com grande atividade de cargas, nesta praticamente não ocorrem colisões entre os diversos portadores de carga e entre átomos neutros. Pode-se supor, assim, que um elétron, deixando o cátodo, atravessa toda a zona de carga somente sofrendo colisões no limite exterior desta zona, o mesmo ocorrendo, em sentido contrário, com íons positivos. Em função da ausência de choques, os elétrons, de menor massa, adquirem uma velocidade muito maior que os outros constituintes do arco, existindo um maior número de portadores de carga positiva na zona de carga, o que explica, em parte, a queda de potencial da região catódica.

Na Zona de luminescência ocorre uma desaceleração dos elétrons. A transformação da energia cinética dos elétrons em radiação eletromagnética é tão intensa que requer a utilização de equipamentos de segurança adequados pelos soldadores.

Na zona de contração, a qual serve de interface entre a região catódica e a coluna do arco, a densidade de corrente passa dos altos valores característicos da região catódica para os valores bem menores da coluna.



### *Região Catódica*

#### ⇒ Região Anódica

- Não é tão importante quanto a região catódica.
- Não há emissão de íons positivos.
- Existe uma concentração de elétrons (cargas negativas):
  - queda anódica.

#### ⇒ Coluna de Plasma

- Compreende praticamente todo o volume do arco.
- Constituída por partículas neutras, íons e elétrons livres, sendo estes responsáveis pela passagem da corrente elétrica entre os eletrodos.
- Para que ocorra a ionização, o gás do arco é aquecido a temperaturas elevadas. Como resultado de sua agitação térmica, choques entre os constituintes do gás o leva a uma ionização parcial do mesmo e à formação do plasma.
- Ocorre a neutralidade elétrica: em cada unidade de volume o número de cargas positivas e negativas é praticamente igual.
- Reações que ocorrem na coluna do plasma: dissociação e ionização.

### > Dissociação e Ionização

- Para o arco elétrico se manter durante a soldagem, é preciso que estejam disponíveis partículas carregadas eletricamente. Existindo moléculas de qualquer gás no dielétrico, essas deverão ser dissociadas e, devido à alta energia de vibração obtida pelo aquecimento dos elétrons, as mesmas são levadas ao estado monoatômico. Após a dissociação, aumentando ainda mais a temperatura, ocorre a ionização dos átomos.

Dissociação  $\Rightarrow$  ruptura das moléculas ( $G_2 \rightarrow 2G$ )

Ionização  $\Rightarrow$  expulsão dos elétrons ( $G \rightarrow G^+ + e^-$ )

#### *Potencial de ionização de alguns gases utilizados na soldagem*

| Gás                 | Potencial (eV) |
|---------------------|----------------|
| Argônio             | 15,76          |
| Dióxido de carbono  | 13,77          |
| Hidrogênio          | 15,43          |
| Hélio               | 24,59          |
| Monóxido de carbono | 14,10          |
| Nitrogênio          | 15,58          |
| Oxigênio            | 12,07          |

## CARACTERÍSTICAS MAGNÉTICAS DO ARCO

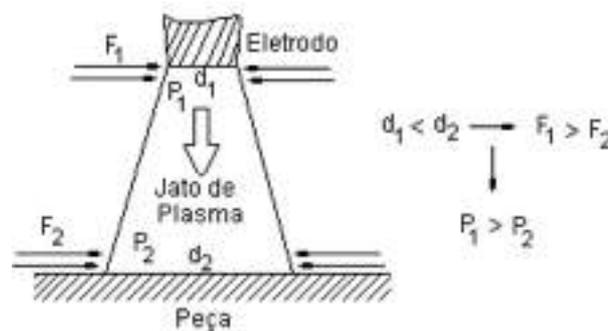
O arco de soldagem é um condutor de corrente elétrica, portanto sofre interações da corrente elétrica transportada por ele, com os campos magnéticos por ela gerados. Se um condutor de comprimento  $L$ , percorrido por uma corrente elétrica,  $I$ , é colocado numa região onde exista um campo magnético,  $B$ , ele experimenta uma força  $F$ , conhecida como “Força de Lorentz”, dada por:

$$F = B \cdot I \cdot L$$

Três importantes efeitos magnéticos podem ocorrer na soldagem a arco, devido às forças de Lorentz:

## ⇒ Jato de plasma

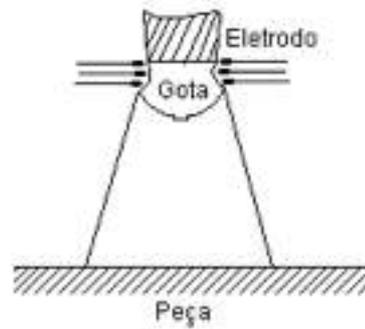
- O arco de soldagem ao ser considerado como um condutor elétrico gasoso de forma cônica, quando a corrente elétrica passa por ele, induz um campo magnético de forma circular concêntrico com seu eixo, se comportando como um condutor colocado num campo magnético. A intensidade do campo magnético decai com o quadrado da distância ao eixo do condutor. Como o diâmetro do arco é sempre menor na região próxima ao eletrodo, as forças de Lorentz tendem a serem maiores nesta região do que na região próxima da peça. A pressão interna do arco na região próxima ao eletrodo é sempre maior que na região próxima a peça. Esta diferença de pressão causa um fluxo de gás sempre no sentido eletrodo-peça que é o jato de plasma. Este é um dos responsáveis pela penetração do cordão de solda e é responsável pela transferência de metal seja sempre no sentido eletrodo-peça, independente da polaridade utilizada.



*Jato de Plasma*

## ⇒ Efeito Pinch

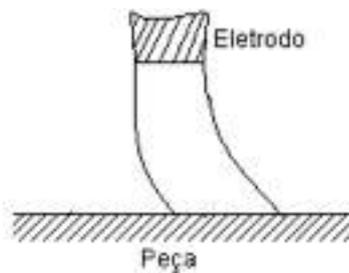
- Em eletrodos consumíveis, as forças de Lorentz, na extremidade fundida do eletrodo são capazes de deformá-la, tendendo a estrangular a parte líquida e separá-la do fio sólido. Por outro lado, a tensão superficial tende a manter a gota presa do eletrodo. Assim, o tempo de permanência da gota líquida na ponta do eletrodo depende principalmente da competição entre a tensão superficial, as forças de Lorentz e o volume da gota, que tende a aumentar continuamente. Para baixas corrente de soldagem, as forças de Lorentz são pequenas e a gota pode aumentar bastante de volume antes de se destacar do eletrodo e se transferir para a peça, por ação do jato de plasma (transferência globular) ou por toque na poça fundida do metal de base (transferência por curto-circuito). Para altas correntes, as forças de Lorentz tendem a estrangular rapidamente à parte fundida, tão logo ela se forme, de modo que a transferência de metal para a peça se dá em finíssimas gotas de metal fundido (transferência “spray”).



*Efeito Pinch*

### ⇒ Sopros magnéticos

- Consiste de um desvio do arco de sua posição normal de operação, como consequência de uma assimetria na distribuição das forças eletromagnéticas em função de variações bruscas na direção da corrente elétrica e/ou arranjo assimétrico de material ferromagnético em torno do arco. O sopro magnético é indesejável em soldagem, pois orienta o arco para direções que, em geral, prejudicam a penetração e uniformidade do cordão de solda, além de causar a instabilidade do arco e dificultar a operação. O sopro magnético pode ser minimizado ou eliminado por algumas medidas simples: inclinar o eletrodo para o lado para o qual se dirige o arco; soldar com arco mais curto; usar mais de uma conexão de corrente na peça, visando a balanceá-la em relação ao arco; usar correntes mais baixas, quando possível e usar corrente alternada, pois o efeito do sopro é menor.



*Sopro magnético*

## 9. FLUXO DE CALOR DURANTE A SOLDAGEM

Eficiência da fonte de calor = rendimento térmico do processo de soldagem ( $\eta$ )

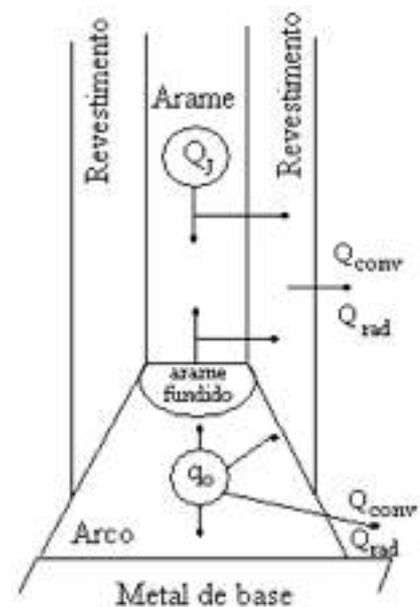
$$\eta = \frac{\text{calor transferido para a peça (Q)}}{\text{calor gerado no arco elétrico (q}_o\text{)}}$$

$$q_o = IV \text{ (W)}$$

$$Q = \eta q_o = \eta IV \text{ (W)}$$

$$Q = \eta \frac{q_o}{A} = \eta \frac{IV}{A} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$A_T = \eta \frac{q_o}{v} = \eta \frac{IV}{v} \text{ (J/m)} \rightarrow \begin{matrix} \text{Aporte térmico} \\ \text{Energia de soldagem} \end{matrix}$$

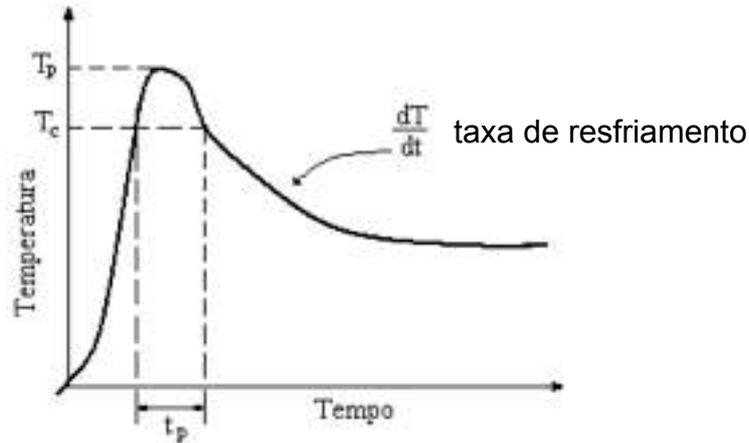


### Rendimento térmico dos processos de soldagem a arco elétrico ( $\eta$ %)

|                                    |   |              |              |
|------------------------------------|---|--------------|--------------|
| GTAW (eletrodo de tungstênio, TIG) | ⇒ | 65 ± 15 (CC) | 35 ± 15 (CA) |
| PAW (Plasma)                       | ⇒ | 70 ± 10      |              |
| SMAW (eletrodo revestido)          | ⇒ | 75 ± 10      |              |
| GMAW (arame sólido)                | ⇒ | 75 ± 10      |              |
| FCAW (arame tubular)               | ⇒ | 80 ± 15      |              |
| SAW (arco submerso)                | ⇒ | 90 ± 9       |              |

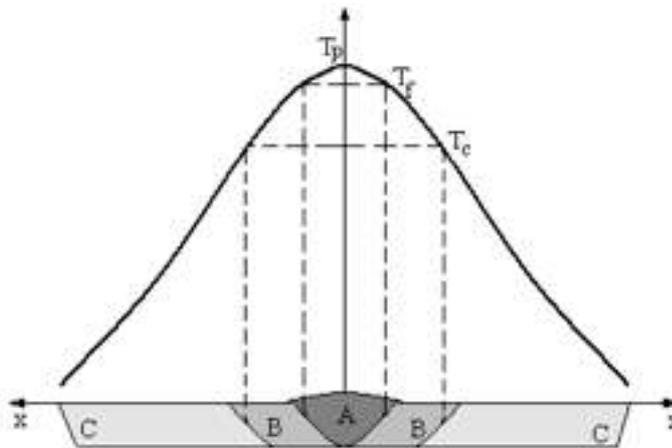
## Ciclo Térmico

↪ Variação da temperatura de um ponto do material em função do tempo



## Perfil Térmico no MB

↪ Variação da temperatura do material em função de seu comprimento



- A: zona fundida (ZF)
- B: Zona Termicamente Afetada (ZTA)
- C: Material de Base (MA)

### Fatores que influenciam a taxa de resfriamento do material durante a soldagem

- Aporte térmico
- Temperatura de pré-aquecimento
- Condutividade térmica do material

---

## 10. SOLDABILIDADE

---



Capacidade (facilidade) de um material de se deixar soldar, atendendo aos requisitos pré-estabelecidos em normas e projetos.

**Soldabilidade Metalúrgica:** capacidade do material em responder bem a todos os fenômenos metalúrgicos impostos pelo procedimento de soldagem adotado. Está relacionado às alterações metalúrgicas que o material base sofre desde o aquecimento à fusão e da solidificação ao resfriamento à temperatura ambiente.

**Soldabilidade Operacional:** diz respeito às questões operacionais do procedimento de soldagem - projeto e preparo de junta; método de execução da soldagem (se manual, com a habilidade, qualificação do soldador e se mecanizada ou automatizada, com as questões tecnológicas envolvidas), além das características dos materiais envolvidos - MB e MC (material de adição mais tipo de proteção). Está relacionada com a facilidade em executar todo o procedimento de soldagem.

**Soldabilidade em Serviço:** diz respeito de como o material se comporta após a soldagem em serviço. Está relacionado à vida útil do material soldado. Desempenho do material soldado em serviço.

## Exemplos de materiais soldáveis

- Aço de baixo carbono (%C < 0,30)
- Aço de médio carbono (0,31 < %C < 0,45)
- Aço de alto carbono (%C > 0,46)
- Aços de baixa liga (elementos de liga inferior a 5%)
- Aços de média liga (entre 5 a 10%)
- Aços de alta liga (acima de 10%)
- Aço inoxidável (austenítico, martensítico e ferrítico)
- Alumínio e suas ligas
- Cobre e suas ligas
- Titânio e suas ligas
- Níquel e suas ligas
- Ferro Fundido (cinzento, nodular, maleável, ligado e branco)
- etc.

⇒ **Carbono equivalente:** estimativa para a soldabilidade e/ou temperabilidade de um aço.

↳ Válido para aço carbono e ligado.

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%(\text{Mn} + \text{Si})}{6} \quad (\text{aço carbono}) \quad (\% \text{ em peso})$$

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%(\text{Mn} + \text{Cr})}{9} + \frac{\%\text{Ni}}{18} + \frac{\%\text{Mo}}{13} \quad (\text{Seferian}) \quad (\% \text{ em peso})$$

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%\text{Mn}}{6} + \frac{\%(\text{Mo} + \text{Cr} + \text{V})}{5} + \frac{\%(\text{Ni} + \text{Cu})}{15} \quad (\text{fórmula IIW}) \quad (\% \text{ em peso})$$

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%\text{Mn}}{6} + \frac{\%\text{Mo}}{4} + \frac{\%\text{Cr}}{5} + \frac{\%(\text{Ni} + \text{Cu})}{15} + \frac{\%\text{P}}{3} \quad (\% \text{ em peso})$$

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%\text{Si}}{30} + \frac{\%(\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Cu})}{20} + \frac{\%\text{Ni}}{60} + \frac{\%\text{Mo}}{15} + \frac{\%\text{V}}{3} + 5 * B \quad (\text{Fórmula Pcm}) \quad (\% \text{ em peso})$$

↳ Quanto maior o  $C_{eq}$  mais baixa é a soldabilidade e mais alta a temperabilidade do aço.

↳  $C_{eq} < 0,4 \%$   $\Rightarrow$  excelente soldabilidade e nenhuma temperabilidade.

↳  $0,4 < C_{eq} < 0,6 \%$   $\Rightarrow$  soldabilidade e temperabilidade razoável.

↳  $0,6 < C_{eq} < 0,9 \%$   $\Rightarrow$  soldabilidade difícil e fácil temperabilidade.

↳  $C_{eq} < 0,9 \%$   $\Rightarrow$  soldabilidade péssima e excelente temperabilidade.

↳ Quando maior o valor do  $C_{eq}$  maior a importância na seleção dos parâmetros de soldagem. O pré-aquecimento é essencial, podendo ser necessário também o uso de pós-aquecimento. Os consumíveis devem ser escolhidos de modo que o limite de resistência do metal depositado seja, no mínimo, igual ao limite de resistência mínimo especificado para o metal de base.

↳ Quanto maior o valor do  $C_{eq}$  maior a temperatura de pré-aquecimento, sendo que esta está diretamente relacionada com a espessura do material.

→ Dica para determinar a temperatura mínima de pré-aquecimento:

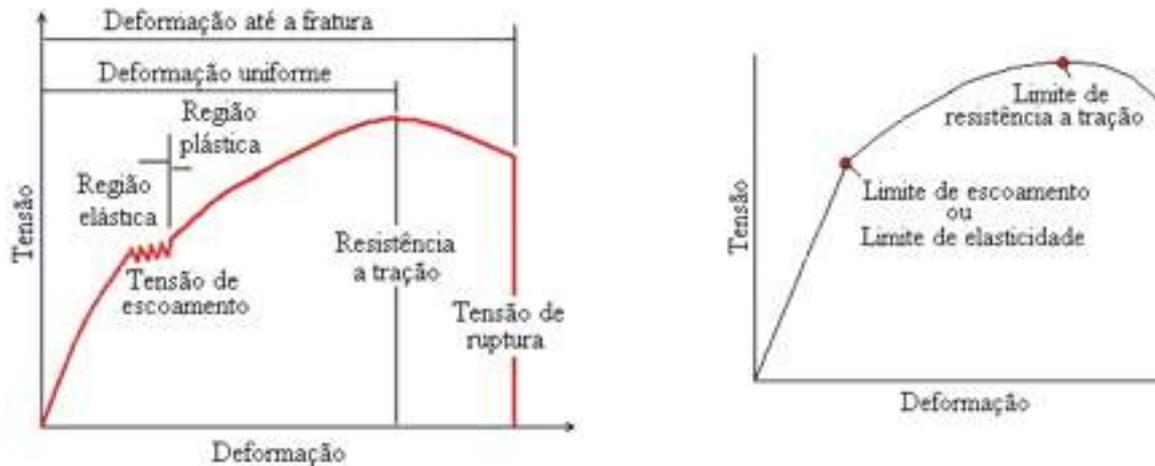
$$T_{p_{\min}} = 350 * \sqrt{C_{eq} * (1 + 0,005E) - 0,25}$$

$$T_{p_{\max}} = T_{p_{\min}} + 100 \text{ a } 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

onde: E = espessura da chapa

## 11. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

⇒ **Teste de tração** → Curva tensão x deformação



↪ **Elasticidade**: capacidade do material se deformar elasticamente.

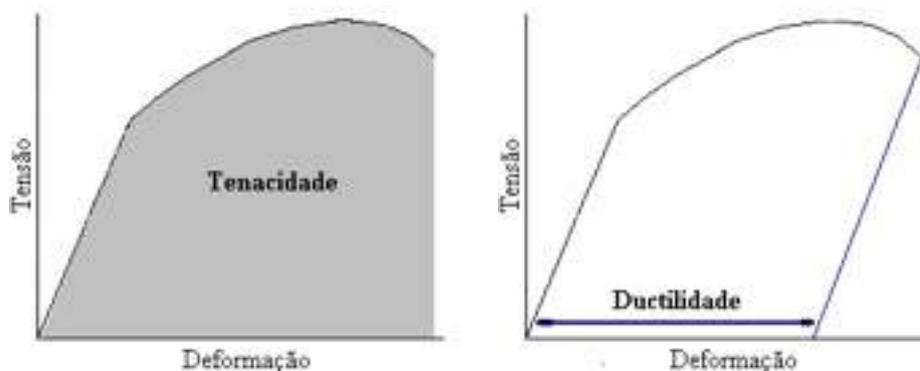
↪ **Limite de escoamento**: limite no qual o material passa a se deformar plasticamente.

↪ **Deformação plástica**: está relacionado com a **rigidez** do material.

↪ **Limite de Resistência à Tração**: tensão máxima que o material suporta, se esta tensão for mantida, ocorrerá a ruptura do material.

↪ **Tenacidade**: capacidade do material de absorver energia, isto é, de se deformar, elástica e plasticamente, antes de trincar ou romper.

↪ **Ductilidade**: é a deformação específica do material. Deformação máxima menos à elástica.



↪ **Fragilidade**: propriedade contrária à ductilidade; materiais frágeis se rompem sem que ocorra uma deformação plástica apreciável.

↪ **Dureza**: é a capacidade do material resistir a esforços externos.

## Constituintes dos Aços Carbono

---

- **Aço:** liga de ferro-carbono
- **Constituintes dos aços:** austenita, ferrita, cementita, perlita, bainita e martensita.
- **Austenita:** só existe em temperaturas superiores a 723°C;
- **Constituintes dos aços (liga ferro-carbono) para um “resfriamento lento”:**
  - Aços com %C < 0,77  $\Rightarrow$  Austenita = ferrita e perlita
  - Aços com %C = 0,77  $\Rightarrow$  Austenita = perlita
  - Aços com %C > 0,77  $\Rightarrow$  Austenita = perlita e cementita
- **Ferrita:** ferro contendo traços de carbono; possui baixa dureza, alta ductilidade e boa tenacidade.
- **Cementita:** carboneto de ferro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) contendo grande quantidade de carbono; possui alta dureza e baixa ductilidade e tenacidade.
- **Perlita:** mistura de 88,5% de ferrita e 11,5% de cementita (têm aparência de lâminas extremamente delgadas, distribuídas alternadamente em ferrita e cementita); possui propriedades intermediárias entre ferrita e cementita.
- **Efeito da velocidade de resfriamento nos constituintes dos aços:** quanto maior a velocidade de resfriamento, menores são as chances de transformação da austenita em ferrita, cementita e perlita. Novos constituintes dos aços podem surgir: **bainita e martensita**.
- Efeito da adição de elementos de liga nos constituintes dos aços: todos os elementos de liga que são adicionados aos aços, com exceção do cobalto, retardam a transformação da austenita, tendo como principal consequência maior facilidade para obter a estrutura martensítica (alta temperabilidade).

**“Soldagem é caracterizada como um processo que pode apresentar altas taxas de resfriamento”.**

**“Atenção especial deve ser dada para os tratamentos térmicos, pré e pós-aquecimento e para materiais que apresentam alta condutividade térmica”.**

---

## **12. FONTES DE POTÊNCIA PARA SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO**

---

### **TIPOS DE FONTES/MÁQUINAS DE SOLDAGEM**

#### ⇒ **Fontes Eletromagnéticas (convencionais)**

- **Transformador:** equipamento bastante simples, sendo constituído basicamente por dois enrolamentos chamados primário e secundário e um sistema de controle da corrente. O transformador é alimentado por CA e fornece CA. Transforma a alta tensão e baixa corrente da rede de fornecimento em baixa tensão e alta corrente necessária a soldagem em CA.
- **Conversor:** constituído por um motor e um gerador acoplados em um eixo comum. O conversor é alimentado por CA e fornece CC.
- **Retificador:** constituído por um transformador trifásico acoplado a um sistema eletrônico de retificação da corrente alternada. O retificador é alimentado por CA e fornece CC ou CA.

#### ⇒ **Fontes Eletrônicas**

- A característica que melhor define as fontes eletrônicas é o uso de dispositivos semicondutores para controle direto da tensão e/ou corrente de saída da máquina. Nas fontes convencionais, tal controle é essencialmente mecânico.

#### ⇒ **Fontes Universais**

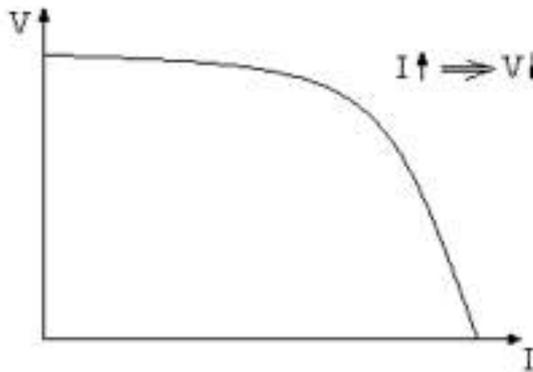
- São fontes eletrônicas multiprocessos.

### **FATORES A SEREM CONSIDERADOS NA SELEÇÃO DE UMA FONTE**

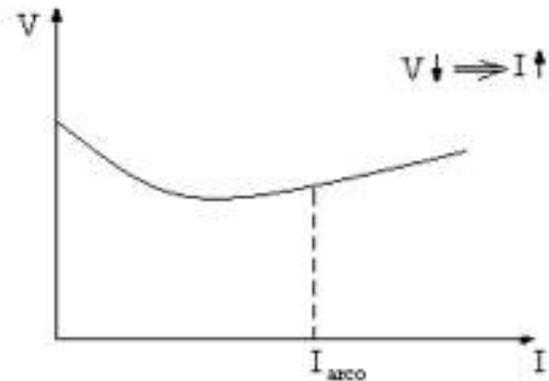
- Processo em que a fonte será utilizada.
- Necessidade de alterar o tipo da curva característica (tensão ou corrente constante).
- Necessidade de variar a tensão de circuito aberto.
- Tipo de corrente: CC, CA, ambas ou pulsada.
- Intervalo entre a mínima e a máxima corrente de soldagem.
- Ciclo de trabalho: tempo de arco aberto em relação ao tempo total de soldagem;
- Tensão, frequência, potência e número de fases disponíveis na rede de alimentação.
- Condições econômicas: qual o capital disponível, por exemplo.
- Robustez e confiabilidade.
- Simplicidade de manutenção.
- Atendimento às normas/código vigentes no país em que opera.
- Necessidade de controle remoto ou automatização.
- Ajustes simples das operações.
- Lay out.

## Requisito Básico para as Fontes serem Aplicáveis à Soldagem

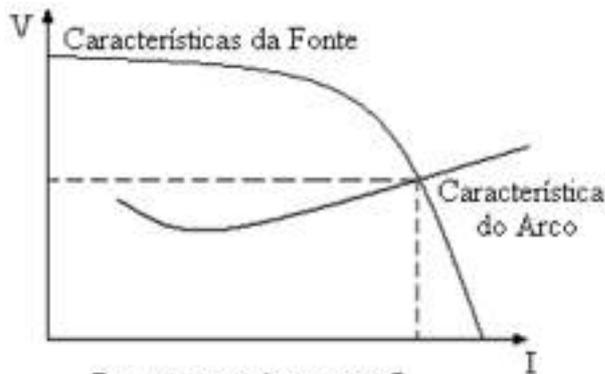
**Curva Característica da Fonte**



**Curva Característica do Arco**



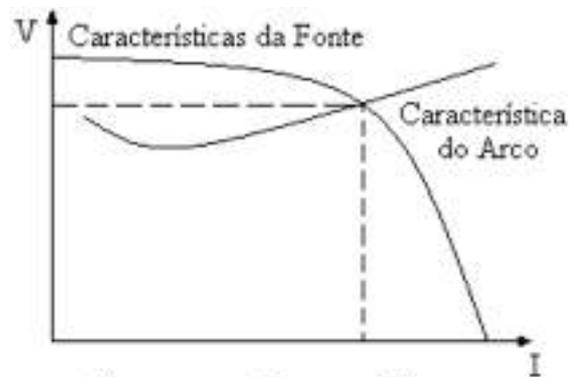
**Fontes de Corrente Constante**



Pequenas mudanças em I  
causa grandes mudanças em V

Típico dos processos  
SMAW, GTAW

**Fonte de Tensão Constante**



Pequenas mudanças em V  
causa grandes mudanças em I

Típico dos processos  
GMAW, FCAW, SAW

---

## Ciclo de Trabalho ou Fator de Trabalho

---

É a porcentagem de tempo que uma fonte de soldagem poderá prover uma dada corrente (arco aberto) em um ciclo de 10 minutos (contínuo ou não), sem exceder um limite pré-determinado de temperatura.

@60% F.t. 300A = a máquina poderá trabalhar com corrente de 300A durante 6 minutos dentro de um intervalo de 10 minutos.

$$Ft_1 * I_1^2 = Ft_2 * I_2^2$$

---

## Grau de Proteção IP

---

Representa a proteção de um equipamento contra partículas sólidas e líquidas.

I - contra objetos sólidos = 3 diâmetro menor que 2,5 mm

= 2 diâmetro menor que 12,5 e maior que 2,5 mm

= 1 diâmetro menor que 50 e maior que 12,5 mm

P - contra líquidos = 1 gota de água que cai na vertical

= 2 gota de água que cai na vertical com inclinação de 15 graus

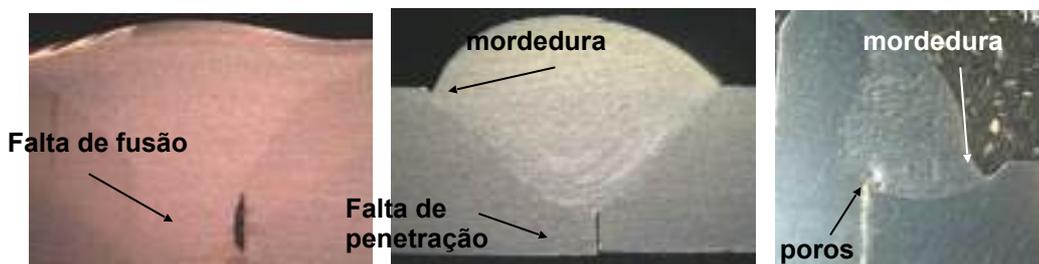
= 3 gota de água que cai na vertical com inclinação de 60 graus (chuva)

## 13. DESCONTINUIDADES MAIS COMUNS EM SOLDAGEM

- **Porosidades:** descontinuidade mais comum encontrado na soldagem. Consiste de uma cavidade formada pelo aprisionamento de gases durante a solidificação do metal fundido. A formação de poros está diretamente relacionada com a utilização de alto aporte térmico, resultando em uma taxa de resfriamento elevada, não dando tempo para que os gases gerados e/ou formados na zona fundida escapem da mesma. Está relacionada também com a umidade excessiva do metal de base ou de adição ou com a limpeza imprópria da junta durante preparação para a soldagem. Tensões elevadas, alta distância entre o eletrodo e o metal de base e uma má proteção gasosa propiciam o surgimento de poros.



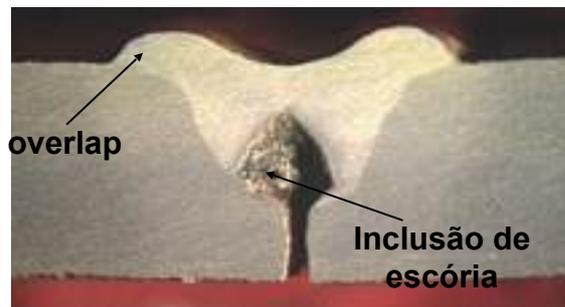
- **Falta de fusão:** condição na qual a fusão é inferior à completa. Resulta da manipulação incorreta da tocha de soldagem e do uso de condições de soldagem incorretas (velocidade de soldagem excessiva, corrente insuficiente e pobre preparação da junta).
- **Falta de penetração:** condição na qual a penetração da junta é menor que a especificada. Resulta da manipulação incorreta da tocha de soldagem e do uso de condições de soldagem incorretas (velocidades de soldagem excessiva, corrente insuficiente e pobre preparação da junta).
- **Mordedura:** tem o formato de um chanfro. Ocorre entre o metal de base e o cordão de solda. Esta região não é preenchida pelo metal de solda. Resulta do uso de condições de soldagem incorretas (velocidade de soldagem, tensão e correntes excessivas, uso de um gás de proteção inadequado e ângulo da tocha incorreto).



- **Distorções e/ou tensões residuais:** todo material soldado apresenta distorções e/ou tensões residuais. O uso de aportes térmicos elevados e na soldagem de materiais espessos, o nível de distorções e/ou tensões residuais é elevado.
- **Inclusão de tungstênio:** ocorre quando a ponta do eletrodo de tungstênio entra em contato com a poça de fusão. Procedimentos impróprios, tais como a utilização de uma corrente de soldagem excessiva para o tamanho e tipo do eletrodo utilizado, utilização de

gás de proteção impróprio para o processo (gases ativos ou misturas de gases ativos com inertes) propiciam o surgimento deste problema.

- **Inclusão de escória:** ocorre somente nos processos de soldagem que envolvem a produção de escória (eletrodo revestido, arco submerso, arame tubular). Movimentos incorretos (zig-zag e/ou vai e vem) ou movimentos radicais do eletrodo/tocha de soldagem, tais como tecelagem rápida e uma remoção prévia incompleta da escória em soldagem de múltiplos passes são causas comuns da inclusão de escória no metal de solda ou entre o metal de solda e o metal de base.
- **Sobreposição (overlap):** protuberância de metal de solda que excede o pé, a face ou a raiz da solda.



- **Trincas:** descontinuidade mais grave encontrada na soldagem. Pode ocorrer no interior do metal de base (ZF, ZTA ou MB) ou podem ser externas. Podem ser micro (fissuras) ou macroscópicas. Podem aparecer durante a solidificação da poça de fusão (trinca por solidificação) ou durante o resfriamento (trinca a quente). Este pode ser incapaz de resistir à solicitação de contração imposta ao material durante o seu resfriamento. Podem também aparecer horas após a realização da solda (trinca a frio). Destas, as mais comuns são às trincas causadas por hidrogênio. Aços temperáveis são altamente susceptíveis à trinca por hidrogênio. Este é gerado principalmente pela decomposição da umidade presente no material de adição e de base. Este tipo de trinca ocorre principalmente na ZTA, podendo também ocorrer na ZF de aços que apresentam maior dureza. A presença de trincas, adicionado às tensões residuais, propicia a ocorrência de fratura frágil.



- **Fratura dúctil:** o material deforma substancialmente antes de fraturar; o processo se desenvolve de forma relativamente lenta.
- **Fratura frágil:** o material deforma pouco antes de fraturar; processo rápido.

## 14. FUSÃO DE ELETRODOS CONSUMÍVEIS

Existem várias relações matemáticas para prever a taxa de fusão de eletrodos consumíveis. Porém, cada relação depende ou do tipo de processo ou do tipo de eletrodo ou do tipo de polaridade, etc. De uma forma simplificada, a taxa de fusão ( $TF$ ) de um eletrodo consumível pode ser definida pela relação entre a massa consumida do eletrodo ( $m$ ) e o tempo de soldagem ( $t$ ), sendo expressa por:

$$TF = \frac{m}{t} = \frac{(m_i - m_f)}{t} \quad (\text{massa/tempo})$$

onde:  $m_i$  = massa inicial do eletrodo

$m_f$  = massa final do eletrodo após a soldagem

Também é possível utilizar a relação entre o comprimento consumido do eletrodo ( $L_c$ ) e o tempo de soldagem ( $t$ ), sendo mais aceita como taxa de consumo ( $TC$ ) e expressa por:

$$TC = \frac{L_c}{t} = \frac{(L_o - L_r)}{t} \quad (\text{comprimento/tempos})$$

onde:  $L_o$  = comprimento inicial do eletrodo

$L_r$  = comprimento restante do eletrodo após fundido

A taxa de fusão, juntamente com a eficiência de deposição ( $\eta_d$ ), determinam as características econômicas dos processos que utilizam eletrodos consumíveis. A eficiência de deposição ou rendimento de deposição real é a relação entre a taxa de deposição ( $TD$ ) e a taxa de fusão ( $TF$ ), expressa por:

$$\eta_d = \frac{TD}{TF} * 100 \quad (\%)$$

A taxa de deposição, por sua vez, é a quantidade de material depositado pelo eletrodo ( $M_s$ ), a qual é efetivamente incorporada à solda, por unidade de tempo, expressa por:

$$TD = \frac{M_s}{t} = \frac{(M_i - M_f)}{t} \quad (\text{massa/tempo})$$

onde:  $M_i$  = massa inicial da chapa

$M_f$  = massa da chapa após a soldagem

### Taxa de deposição de processos que utilizam eletrodos consumíveis:

SMAW = 0,5 a 8,0 Kg/h

GMAW = 1,0 a 15 Kg/h

SAW = 3,0 a 20,0 kg/h

FCAW = 2,0 a 16 kg/H

## 15. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA

### Modos de transferência metálica

- Transferência por curto circuito
- Transferência globular
- Transferência spray

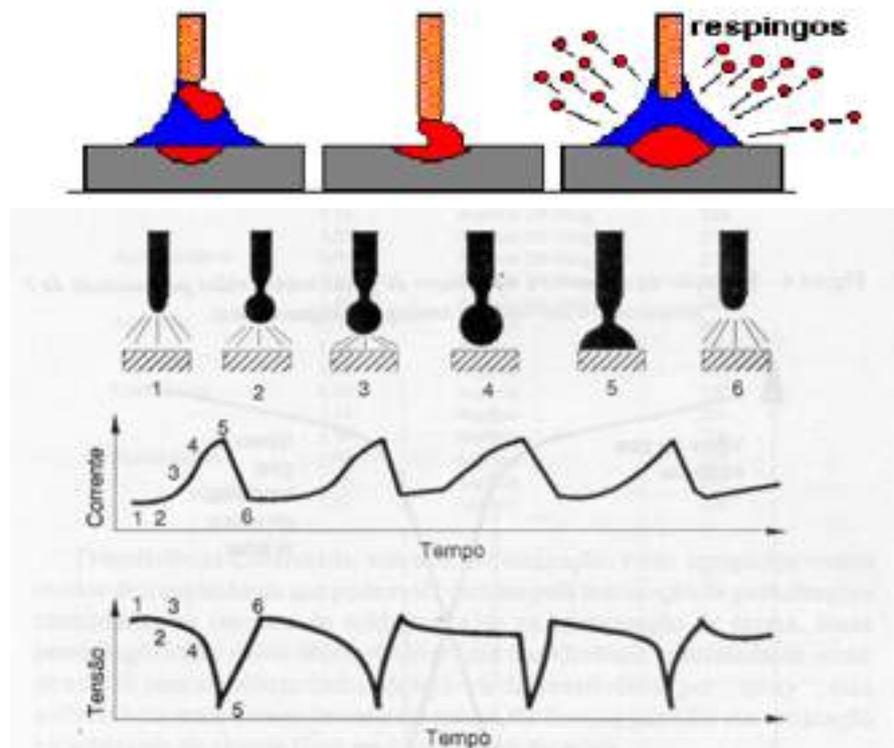
### Fatores que mais influenciam o modo de transferência metálica

- Magnitude e tipo de corrente de soldagem.
- Diâmetro do arame.
- Composição do arame.
- Tensão do arco.
- Tipo de proteção (gás ou fluxo).

#### ⇒ Transferência por curto circuito

- A transferência por curto circuito ocorre na soldagem com **baixas tensões e correntes de soldagem** (pequenos diâmetros de arame).

Representação esquemática da transferência por curto circuito



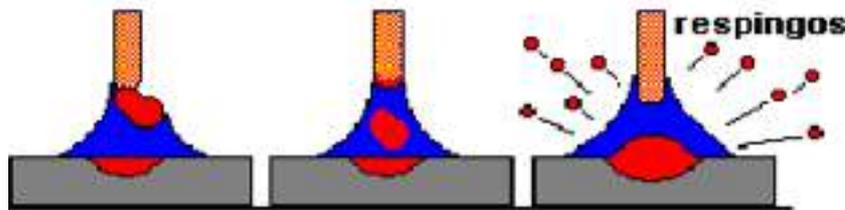
No curto, a corrente de soldagem é máxima e a tensão do arco elétrico é nula.

- O metal é transferido do eletrodo para a peça somente durante o período quando o eletrodo está em contato com a poça de fusão.
- **Nenhum metal é transferido através do arco.**
- O arame toca a poça fundida numa faixa de 20 a 200 curtos circuitos por segundo.
- Quando o arame toca a poça de fusão, a corrente de soldagem aumenta (ponto 5). A taxa em que a corrente aumenta deve ser alta o suficiente para aquecer o arame e promover a transferência metálica, contudo baixa o suficiente para minimizar respingos causados pela separação violenta da gota de metal.
- O nível de respingos é bastante elevado.
- Este modo de transferência produz uma poça de fusão pequena e de rápido resfriamento que é geralmente utilizada na soldagem de seções finas, na soldagem fora de posição e para fechar grandes aberturas de raiz.

#### ⇒ **Transferência globular**

- Este modo de transferência ocorre para **valores intermediários de tensão e corrente** de soldagem e resulta em um arco mais estável que no caso anterior.

Representação esquemática da transferência globular



- Mesmo utilizando uma corrente elevada, se o comprimento do arco é muito pequeno, a gota em crescimento pode tocar a poça (**transferência por curto circuito**), se superaquecer e desintegrar, produzindo muitos respingos. Portanto, **a combinação entre a corrente de soldagem e a tensão do arco é essencial para a definição do modo de transferência metálica.**
- A transferência globular é caracterizada por uma gota de diâmetro maior que o do arame. Com o aumento do tamanho da gota, o seu peso aumenta e acaba por ocasionar a sua separação do arame e a gota de metal líquido se transfere para a poça de fusão pela ação da gravidade. Por este motivo, sua utilização é limitada à **posição plana em juntas de topo e plana e horizontal em juntas de filete.**
- O nível de respingos na transferência globular é relativamente elevado, porém inferior ao caso anterior.

## ⇒ Transferência spray

- À medida que se aumenta a corrente de soldagem, o diâmetro médio das gotas de metal líquido que se transferem para a peça diminui, até que, acima de um certo nível de corrente (corrente de transição), há uma mudança brusca no modo de transferência, que passa de globular para spray.

Representação esquemática de transferência spray



- O modo de transferência spray resulta em um fluxo altamente direcionado de gotas discretas que são aceleradas pelas forças do arco elétrico a velocidades que vencem a força da gravidade. Devido a isto, o processo, sob certas condições, pode ser utilizado em qualquer posição.
- Devido às gotas serem menores que o diâmetro do arame e que o comprimento do arco, curto circuito não ocorrer e respingos são mínimos, se não totalmente eliminados.
- A corrente de transição depende de inúmeros fatores, particularmente, da composição e temperatura de fusão do eletrodo/arame, do tipo de gás de proteção, é inversamente proporcional ao diâmetro do eletrodo/arame e depende em menor grau do comprimento do arco.

## **16. GASES DE PROTEÇÃO**

### **Tipo e potencial de ionização de alguns gases utilizados na soldagem**

| <b>Gás</b>         | <b>Tipo</b> | <b>Potencial (eV)</b> |
|--------------------|-------------|-----------------------|
| Hélio              | inerte      | 24,59                 |
| Argônio            | inerte      | 15,76                 |
| Hidrogênio         | ativo       | 15,43                 |
| Nitrogênio         | ativo       | 15,58                 |
| Dióxido de carbono | ativo       | 13,77                 |
| Oxigênio           | ativo       | 12,07                 |

### **Fatores que influenciam na escolha do tipo de gás de proteção**

- Metal de base.
- Propriedades mecânicas requeridas pelo cordão de solda.
- Condição e pureza do metal base.
- Tipo de serviço e aplicações específicas requeridas.
- Posição de soldagem.
- Tipo de processo de soldagem (GTAW, PAW, GMAW e FCAW).
- Modo pretendido de transferência metálica.

### **Principais funções dos gases de proteção**

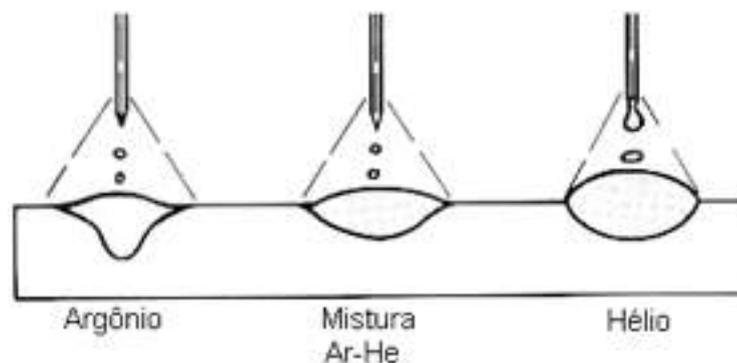
- Propiciar a ionização do arco elétrico.
- Proteger o arco elétrico e a poça de fusão contra contaminações da atmosfera.

### **Variáveis influenciadas pelo tipo e pela vazão do gás de proteção**

- Características do arco.
- Modo de transferência metálica.
- Penetração e forma do cordão de solda.
- Velocidade de soldagem.
- Tendência ao trincamento.
- Ação de limpeza.
- Propriedades mecânicas do metal de solda.

## ⇒ Gases de proteção inertes

- Argônio e hélio são os gases inertes mais utilizados na soldagem.
- Estes gases puros ou misturas destes gases são utilizados na soldagem de materiais não ferrosos, aços inoxidáveis, aços carbono e aços de baixa liga.
- As principais diferenças entre o argônio e o hélio são a densidade, o potencial de ionização e a condutividade térmica.
- O argônio é aproximadamente 1,4 vez mais denso que o ar, enquanto a densidade do hélio é aproximadamente 0,14 vez a do ar. O argônio, mais pesado, é mais efetivo na proteção do arco e da poça de fusão na posição plana que o hélio. O hélio requer aproximadamente 2 ou 3 vezes mais vazão que o argônio para fornecer proteção igual (maior custo de soldagem).
- O hélio tem um potencial de ionização maior que o argônio, e conseqüentemente, uma tensão mais alta pode ser adotado durante a soldagem, quando outras variáveis são mantidas constantes. O hélio pode apresentar problemas na iniciação do arco. Arcos protegidos com hélio produzem maior quantidade de respingo e tem acabamento mais áspero que arcos protegidos com o argônio.
- O hélio tem maior condutividade térmica que o argônio e produz um plasma com a energia mais uniformemente distribuída.
- O plasma do argônio, por outro lado, é caracterizado como tendo uma alta energia no centro e uma baixa energia nas extremidades. Essa diferença afeta a forma do cordão de solda. Um arco de solda protegido por hélio produz um cordão de solda profundo, parabólico e largo. Um arco protegido por argônio produz um cordão de solda caracterizado por penetração tipo dedo.



- As características desejáveis, durante a soldagem, que são encontradas utilizando hélio (profundidade, largura e formato do cordão de solda) podem ser aproveitadas utilizando uma mistura de Ar-He.
- Na soldagem de materiais não ferrosos pode-se utilizar proteção com argônio puro.

- O uso de hélio puro geralmente é restrito a áreas mais especializadas, devido à sua limitada estabilidade e custo elevado.

#### ⇒ **Gases de proteção ativos**

- O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o gás ativo mais utilizado para soldagem. É o único gás ativo utilizado, na sua forma pura, na soldagem.
- Altas velocidades de soldagem, grandes penetrações e baixo custo são características gerais que tem encorajado o uso do  $\text{CO}_2$  puro.
- Em comparação com proteções ricas em argônio, a proteção com  $\text{CO}_2$  produz um cordão com excelente penetração, com superfície áspera e menor “lavagem” nos contornos do cordão devido ao arco ser restrito (menor susceptibilidade para gerar mordedura).

#### ⇒ **Adições de $\text{O}_2$ e $\text{CO}_2$ ao argônio**

- A proteção do arco elétrico por argônio puro causa um arco irregular e uma tendência para ocorrer trinca na raiz da solda.
- Adições de  $\text{O}_2$  ou  $\text{CO}_2$  ao argônio produzem notável melhora na estabilidade do arco e produzem soldas livres de trincas na raiz.
- A quantidade ótima de  $\text{O}_2$  ou  $\text{CO}_2$  a ser acionada depende da condição da superfície, geometria da junta, posição de soldagem e da composição química do metal base.
- Adições de  $\text{O}_2$  ao argônio melhora a fluidez da poça de fusão, a penetração e a estabilidade do arco. A tendência à trinca na raiz é reduzida, apesar de considerável oxidação da solda ocorrer, com notável perda de sílica e manganês.
- Adições de  $\text{CO}_2$  ao argônio podem melhorar a aparência do cordão de solda.
- Misturas de argônio com  $\text{CO}_2$  são utilizadas em aços carbono e baixa liga e em menor extensão em aços inoxidáveis.

---

## 17. FLUXOS DE PROTEÇÃO

---

### Processos de soldagem que utilizam fluxos

- SMAW
- FCAW
- SAW

O fluxo consiste de uma mistura de diferentes materiais combinados em proporções adequadas. Muitos dos ingredientes de um fluxo podem ter mais de uma função e diferentes ingredientes no mesmo fluxo podem contribuir para a mesma função.

### Funções dos fluxos

- Fornecer elementos de liga para o refino da microestrutura (desoxidação e dessulfuração).
- Fornecer elementos de liga para o controle da composição química do metal de solda.
- A escória, proveniente da queima do fluxo, protege as gotas de metal fundido durante a sua transferência pelo arco e controla a velocidade de resfriamento do metal de solda.
- Fornecer agentes que facilitam a remoção da escória, a soldagem em diversas posições, possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade;
- A decomposição de ingredientes do fluxo pode ainda controlar a temperatura do arame/eletrodo durante a soldagem.
- Os gases, provenientes da decomposição do fluxo, propiciam a ionização do arco e produzem uma atmosfera protetora para o arco elétrico e para a poça de fusão contra contaminações da atmosfera, etc.

### No processo FCAW, há diferentes tipos de arames tubulares:

- Arame tubular (normal) com proteção gasosa;
- Arame tubular auto-protegido;
- Arame tubular do tipo metal cored com proteção gasosa.

**OBS.:** Apenas no processo FCAW com arame tubular **auto-protegido**, ingredientes do fluxo são responsáveis pela geração de gases para a ionização do arco e proteção do arco e da poça de fusão. Para os demais tipos de arames esta função é responsabilidade do gás de proteção.

## 18. MÉTODO DE APLICAÇÃO DA SOLDAGEM

### CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A AWS

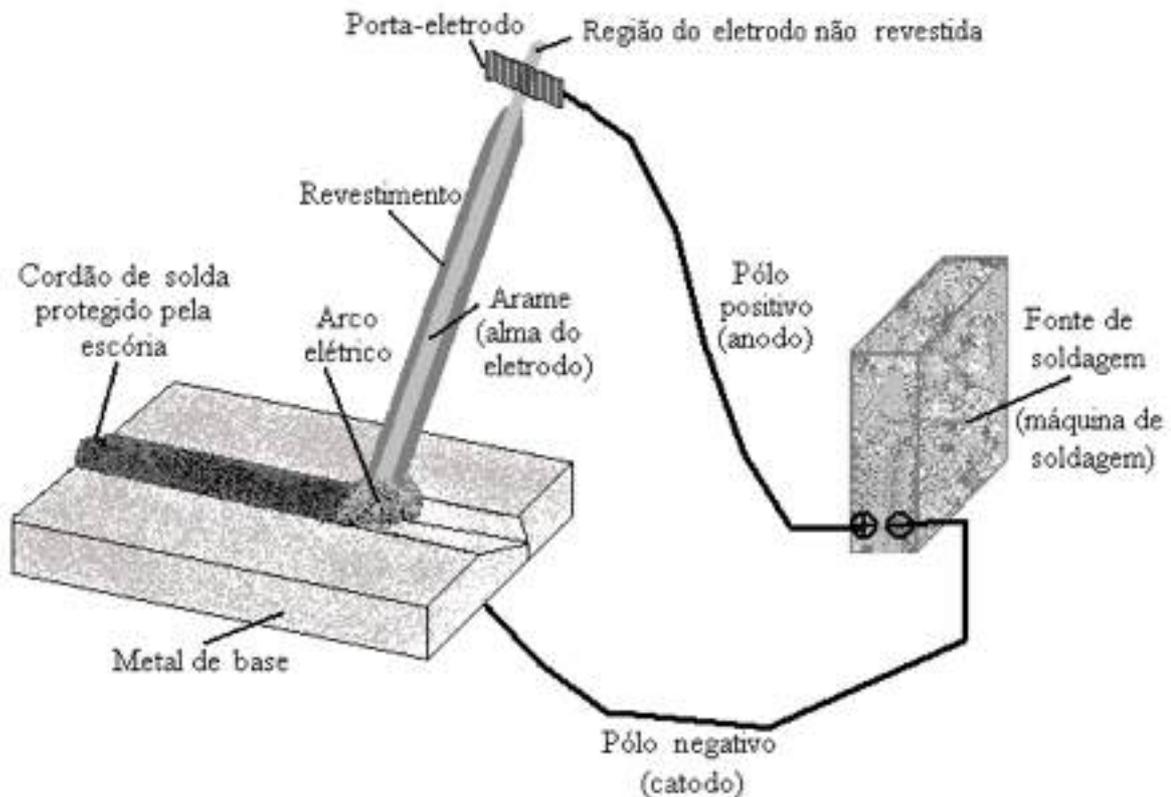
| Método de Aplicação                      | Manual  | Semi-automático   | Mecanizado  | Automático   | Robotizado  | Controle Adaptativo   |
|--|---|---|---|--|---|---|
| Atividades                               |  |  |  |  |  |  |
| Abertura e manutenção do arco            | Humano  | Máquina   | Máquina   | Máquina  | Máquina (com sensor)  | Máquina (Robô)  |
| Alimentação do arame/ eletrodo           | Humano  | Máquina   | Máquina   | Máquina  | Máquina   | Máquina   |
| Controle do calor para obter penetração  | Humano  | Humano  | Máquina   | Máquina  | Máquina (com sensor)  | Máquina (Robô) (só com sensor)  |
| Movimento do arco ao longo da junta      | Humano  | Humano  | Máquina   | Máquina  | Máquina (com sensor)  | Máquina (Robô)  |
| Guiar o arco ao longo da junta           | Humano  | Humano  | Humano  | Máquina (via trilha pré programada)  | Máquina (com sensor)  | Máquina (Robô) (só com sensor)  |
| Manipular a tocha para direcionar o arco | Humano  | Humano  | Humano  | Máquina  | Máquina (com sensor)  | Máquina (Robô)  |
| Correções do arco para compensar desvios | Humano  | Humano  | Humano  | Não ocorre   | Máquina (com sensor)  | Máquina (Robô) (só com sensor)  |

### Nova concepção dos métodos de aplicação dos processos de soldagem

| Atividades                           | Método de Aplicação |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                      | Manual              | Semi-mecanizado          | Mecanizado               | Automatizado             |                          |
|                                      |                     |                          |                          | Fixo (sem robô)          | Flexível (com robô)      |
| Deslocamento da tocha porta-eletrodo | manual              | mecânico e/ou eletrônico | mecânico e/ou eletrônico | mecânico e/ou eletrônico | mecânico e/ou eletrônico |
| velocidade de soldagem               | manual              | manual ou gravidade      | mecânico e/ou eletrônico | mecânico e/ou eletrônico | mecânico e/ou eletrônico |
| Programação do ciclo de soldagem     | não há              | não há                   | não há                   | mecânico e/ou eletrônico | mecânico e/ou eletrônico |

Fonte: Método de Aplicação da Soldagem: Manual, Mecanizado ou Automatizado XXXII Consolda, 2006.  
Ivanilza Felizardo, Alexandre Queiroz Bracarense

## 19. SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO - SMAW



### CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- Processo extremamente simples.
- Investimento em equipamento é relativamente baixo.
- Eletrodos são facilmente encontrados no mercado.
- A diversidade dos tipos de consumíveis existentes no mercado é imensa, devido à facilidade que se tem para alterar a composição química do revestimento.
- Processo bastante utilizado na soldagem de aços baixo carbono, aços de baixa, média e alta liga, aço inoxidável, ferros fundidos, alumínio, cobre, níquel e ligas destes.
- Diferentes combinações de metais dissimilares podem ser soldadas com eletrodo revestido.
- É o processo mais utilizado na soldagem subaquática.
- Pode ser usado em todas as posições (depende do tipo de revestimento).
- É indicado para metal de base com espessura entre 3,0 mm a 40 mm e em áreas de acesso limitado. Para espessuras inferiores a 2 mm, o material é facilmente perfurado pelo calor do arco, antes da formação da poça de fusão.

- Para espessuras muito grandes a baixa produtividade do processo pode ser um fator limitante.
- Metais de baixo ponto de fusão como o estanho, zinco, chumbo e suas ligas não são soldados pelo SMAW, pois a intensidade do calor do arco é muito alta para eles. Também não é adequado para metais refratários ou muito reativos como o titânio, zircônio, molibdênio, nióbio e o tântalo, pois os elementos fornecidos pelo revestimento não evitam a contaminação do oxigênio na solda.
- O modo de transferência metálica dos eletrodos revestidos é essencialmente uma função da composição do revestimento, visto que esta determina quais os parâmetros de soldagem a serem utilizados. De uma maneira geral, o modo de transferência para eletrodos ácidos ou oxidantes é basicamente spray, para eletrodos rutilicos é menos spray e para eletrodos básicos, a transferência de metal ocorre através de gotas grandes. Destaca-se que o tamanho das gotas de metal fundido transferido no decorrer do processo com eletrodo revestido aumenta devido ao aumento da temperatura do eletrodo durante a soldagem.
- A grande limitação do processo é o fato de se tratar de um processo tipicamente manual, cujo nível de habilidade do soldador é fundamental para se obter uma solda de qualidade. O soldador é responsável pela abertura e fechamento do arco elétrico, pela troca do eletrodo e pela execução dos movimentos e controle das velocidades de avanço e de mergulho do mesmo. Estes movimentos, conseqüentemente o controle destas velocidades, devem ser realizados de forma que o comprimento do arco seja mantido constante durante o processo.
- Uma característica peculiar do processo de soldagem com eletrodo revestido é o fato da corrente atravessar todo o comprimento do eletrodo, aquecendo-o por efeito Joule. O aumento da temperatura dos eletrodos revestidos durante a soldagem produz várias conseqüências, dentre elas, alterações na sua taxa de fusão: **velocidade de mergulho dos eletrodos revestidos não é constante durante a soldagem**. Este fato é um dos mais importantes que dificulta a robotização do processo.

## AQUECIMENTO DO ELETRODO REVESTIDO DURANTE A SOLDAGEM

O aquecimento do eletrodo revestido durante a soldagem deve-se ao calor transferido do arco elétrico, através da interface líquido/sólido na ponta do eletrodo, e ao calor gerado por efeito Joule, devido à resistência do arame à passagem de corrente elétrica. O calor gerado no arco elétrico,  $q_o$ , é definido por:

$$q_o = \eta \frac{IV}{A} \quad (\text{W/m}^2)$$

onde:  $\eta$  = rendimento térmico do processo (%)

$I$  = corrente de soldagem (A)

$V$  = tensão do arco elétrico (V)

$A$  = área transversal do arame ( $\text{m}^2$ )

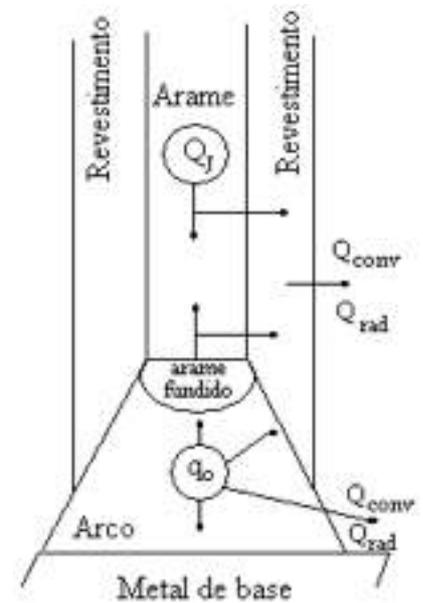
E o calor gerado por efeito Joule,  $Q_J$ , é representado pela seguinte equação:

$$Q_J = RI^2 = \frac{\rho_e L}{A} I^2 \quad (\text{W})$$

onde:  $R$  = resistência elétrica ( $\Omega$ )

$\rho_e$  = resistividade elétrica do arame ( $\Omega\text{m}$ )

$L$  = comprimento do eletrodo (m)



O calor gerado por efeito Joule,  $Q_J$ , ocorre apenas no arame, visto que no revestimento, não há fluxo de corrente passando pelo mesmo, portanto, não há geração de calor. O revestimento é aquecido pelo fluxo de calor condutivo do arame. O arco elétrico é estabelecido entre a ponta do arame e o metal de base.

Os efeitos do aquecimento do eletrodo revestido são vários e completamente diferentes no arame e no revestimento. O aquecimento no arame altera as propriedades físicas e elétricas do aço, mas não altera sua composição química, enquanto que o revestimento tende a perder umidade quando calor é aplicado. À medida que a temperatura do eletrodo aumenta, o teor de componentes orgânicos no revestimento, responsáveis pela proteção do metal fundido, diminui e, conseqüentemente, as características do metal depositado são piores no final do cordão de solda. Além disto, o aumento da temperatura do eletrodo revestido altera a taxa de fusão do eletrodo durante a soldagem, fazendo com que seja necessário alterar a velocidade de mergulho do eletrodo durante o processo.

## **Fatores que alteram a temperatura do eletrodo revestido durante a soldagem:**

- O calor gerado por efeito Joule é o único responsável pelo aumento da temperatura do eletrodo em regiões afastadas da frente de fusão, enquanto que o calor transferido do arco elétrico aumenta a temperatura do eletrodo apenas em regiões extremamente próximas à frente de fusão. Nesta região existe um somatório do calor gerado por efeito Joule e do calor transferido pelo arco elétrico;
- Para um mesmo diâmetro de arame, quando maior a corrente de soldagem, maior a temperatura do eletrodo;
- Mantendo a corrente de soldagem constante, quando maior o diâmetro do arame, menor a temperatura do eletrodo;
- Para um mesmo diâmetro de arame e mantendo a corrente de soldagem constante, quando maior a espessura do revestimento menor a temperatura do eletrodo;
- A tensão do arco elétrico praticamente não afeta a temperatura do eletrodo e esta não sofre nenhum efeito do ângulo do eletrodo com o plano horizontal;
- A temperatura do eletrodo aumenta com a adição de fluxos exotérmicos e diminui com a adição de fluxos endotérmicos no revestimento;
- A polaridade influencia de forma complexa a temperatura do eletrodo em regiões extremamente próximas à frente de fusão (podendo dizer que a polaridade influencia a temperatura do arco elétrico), porém não altera a temperatura do eletrodo em regiões afastadas da frente de fusão.

“Qualquer parâmetro que causa uma variação na temperatura do eletrodo revestido causa, conseqüentemente, uma variação na sua taxa de fusão. Esta varia com o tempo, porque a temperatura do eletrodo varia”.

## FABRICAÇÃO DOS ELETRODOS REVESTIDOS

A fabricação dos eletrodos revestidos não é simples, devido à grande diversidade dos tipos e das aplicações em soldagem, cada um exigindo considerações especiais. A camada de revestimento ao redor do arame é geralmente extrudada e não deve deteriorar ou separar com o calor durante a sua preparação ou durante a soldagem. Também precisa ter considerável resistência mecânica aos impactos ou às vibrações durante o armazenamento e o transporte. Ao longo da produção, inspeções e ajustes são executados para assegurar um revestimento uniforme e concêntrico, visto que um dos mais importantes índices de qualidade do revestimento é a sua concentricidade.

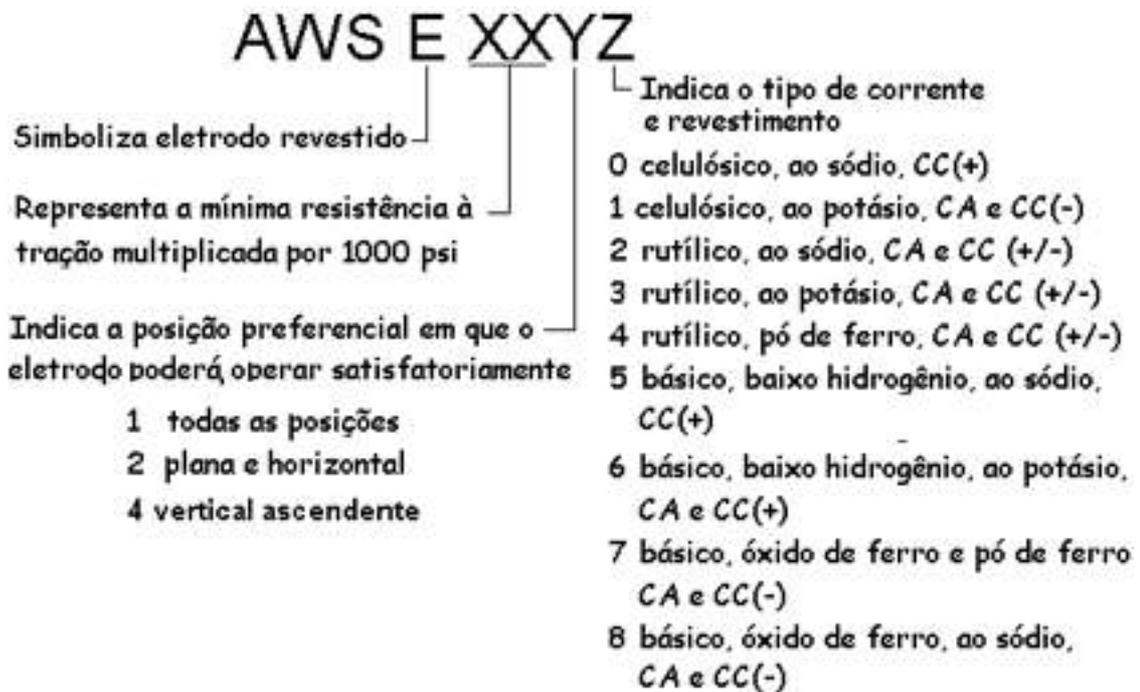
### Fluxograma das etapas de fabricação dos eletrodos revestidos



## PRINCIPAIS ELEMENTOS PRESENTES NO REVESTIMENTO

| <i>Elementos</i>     | <i>Fórmula</i>   | <i>Funções primárias e secundárias</i>                                      |
|----------------------|--|---|
| Alumina              | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | Formar escória; Estabilizar o arco  |
| Argila               | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2SiO <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O                   | Ajudar na extrusão; Formar escória  |
| Cal                  | CaO  | Agente fluxante; Controlar a viscosidade da escória                         |
| Calcita              | CaCO <sub>3</sub>  | Controlar a basicidade da escória; Gerar gases de proteção                  |
| Fluorita             | CaF <sub>2</sub>   | Controlar a basicidade da escória; Reduzir a viscosidade da escória         |
| Celulose             | (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>x</sub>                        | Gerar gases de proteção; Ajudar na extrusão                                 |
| Ferro-Manganês       | Fe-Mn  | Controlar a composição química; Promover a desoxidação                      |
| Ferro-Silício        | Fe-Si  | Promover a desoxidação; Controlar a composição química.                     |
| Hematita             | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | Promover a oxidação; Formar escória   |
| Magnetita            | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>   | Promover a oxidação; Formar escória   |
| Silicato de Lítio    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>   | Atuar como agente aglomerante   |
| Silicato de Potássio | K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Estabilizar o arco; Agente aglomerante                                      |
| Titanato de Potássio | 2K <sub>2</sub> O 2TiO <sub>2</sub>  | Estabilizar arco; Formar escória  |
| Feldspar             | K <sub>2</sub> O Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 6SiO <sub>2</sub>                    | Formar escória; Agente fluxante   |
| Mica                 | K <sub>2</sub> O 3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 6SiO <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O | Ajudar na extrusão; Estabilizar o arco                                      |
| Dolomita             | MgO CaO 2(CO <sub>2</sub> )  | Gerar gases; Agente fluxante  |
| Silicato de Sódio    | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>   | Agente aglomerante; Estabilizar o arco                                      |
| Sílica               | SiO <sub>2</sub>   | Formar escória; Controlar a viscosidade                                     |
| Rutila               | TiO <sub>2</sub>   | Reduzir a viscosidade da escória; Estabilizar o arco                        |
| Pó de Ferro          | -  | Aumentar a taxa de deposição e o rendimento do eletrodo; Estabilizar o arco |
| Zircônio             | ZrO <sub>2</sub>   | Estabilizar o arco; Facilitar a destacabilidade da escória                  |

## CLASSIFICAÇÃO AWS DE ELETRODOS PARA AÇO CARBONO



### ⇒ Tipos de revestimento

#### • Revestimento Oxidante

- Constituído principalmente de óxido de Ferro e Manganês.
- Produz uma escória oxidante, abundante e de fácil remoção.
- Apresenta baixa penetração.
- Não é adequado para aplicações de risco elevado.
- Bastante utilizado na soldagem subaquática.

#### • Revestimento Ácido

- Constituído principalmente de óxido de Ferro, Manganês e sílica.
- Produz uma escória ácida, abundante, porosa e de fácil remoção.
- Apresenta penetração média e alta taxa de fusão.
- Propriedades da solda são consideradas boas para diversas aplicações, embora sua resistência à formação de trincas de solidificação seja baixa.
- Apresenta uma aparência de cordão muito boa.

#### • Revestimento Rutílico

- Contém grandes quantidades de rutila (TiO<sub>2</sub> - óxido de Titânio).
- Produz uma escória abundante, densa e de fácil destacabilidade.

- É de fácil manipulação.
- Pode ser utilizado em qualquer posição, exceto nos casos em que o revestimento possui um grande teor de pó de Ferro.
- Cordão de bom aspecto, porém com penetração média ou baixa.
- A resistência à fissuração a quente é relativamente baixa.
- Grande versatilidade e de uso geral.
- Exemplo: E6013.

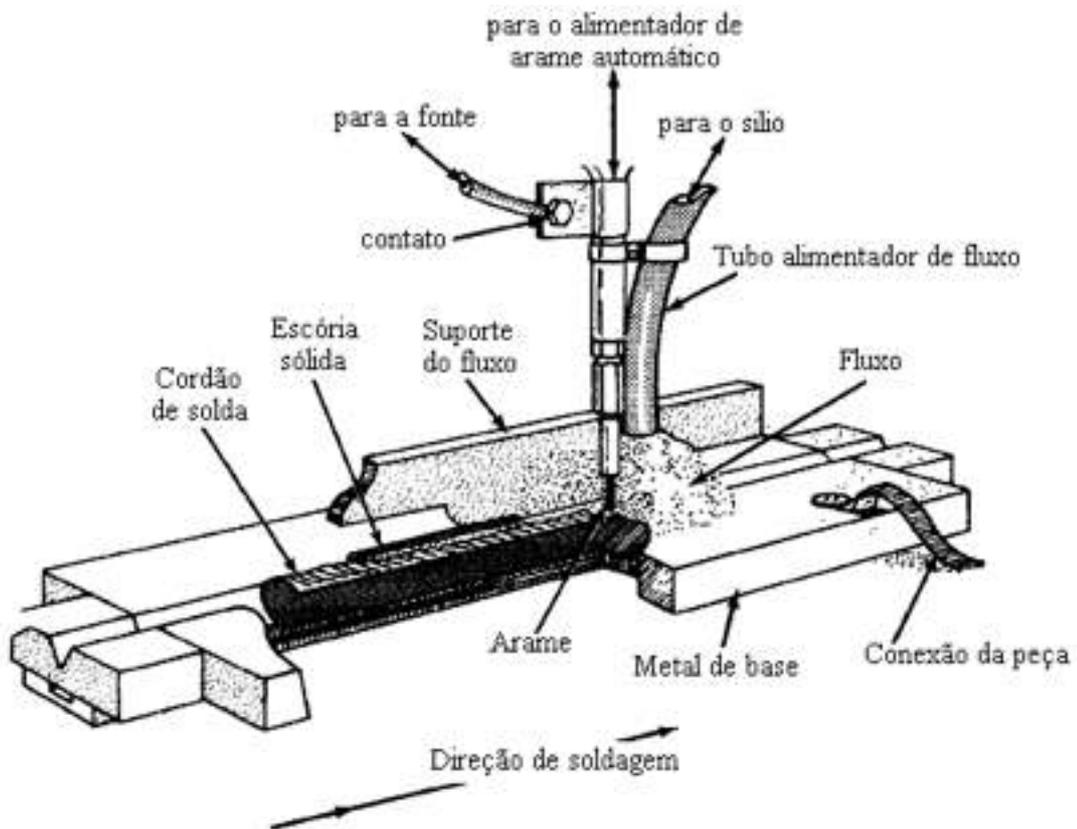
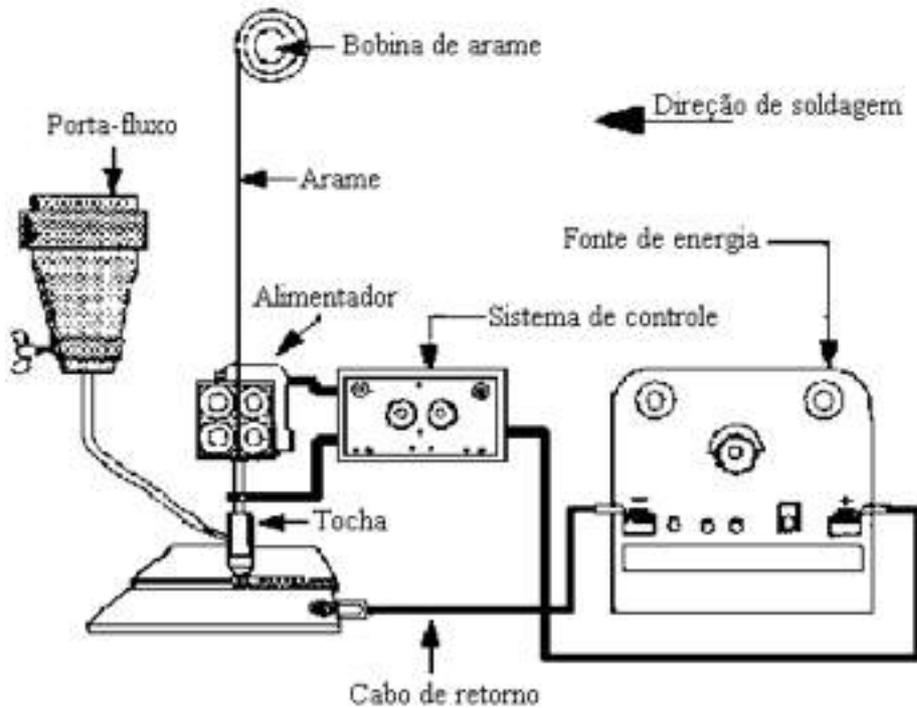
#### ● **Revestimento Básico**

- Contém grandes quantidades de carbonatos de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).
- Escória básica exerce uma ação benéfica sobre a solda; dessulfurando-a e reduzindo o risco de trincas de solidificação.
- Produz soldas com baixos teores de hidrogênio.
- Penetração é média.
- Cordão apresenta boas propriedades mecânicas, particularmente em relação a tenacidade.
- Indicados para aplicações de alta responsabilidade, para soldagens de grandes espessuras e de elevado grau de travamento.
- Recomendado para a soldagem de aços de baixa soldabilidade.
- Revestimento é mais higroscópico.
- Requerer cuidados especiais com o armazenamento e manuseio.
- Exemplo: E7018.

#### ● **Revestimento Celulósico**

- Contém grandes quantidades de material orgânico (celulose).
- Gera grandes quantidades de gases que protegem o metal líquido.
- Quantidade de escória produzida é pequena.
- Produz grande volume de respingos.
- Penetração é alta.
- Aspecto do cordão é de escamas irregulares.
- Características mecânicas da solda são consideradas boas, com exceção da possibilidade de fragilização pelo hidrogênio.
- Recomendados para soldagem fora de posição, tendo grande aplicação na soldagem orbital de tubos e na execução de passes de raiz em geral.
- Não são recomendados para o enchimento de chanfros.
- Exemplo: E6010.

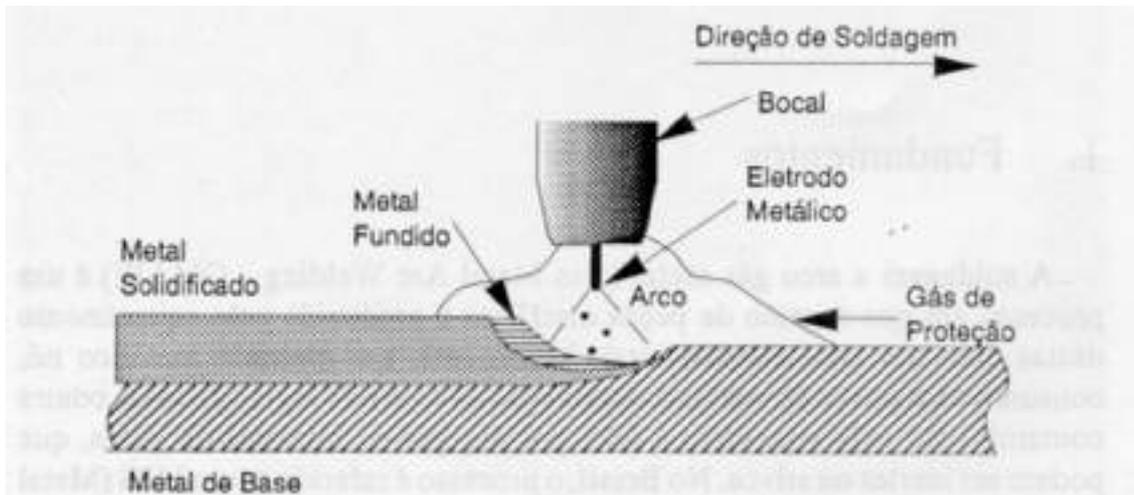
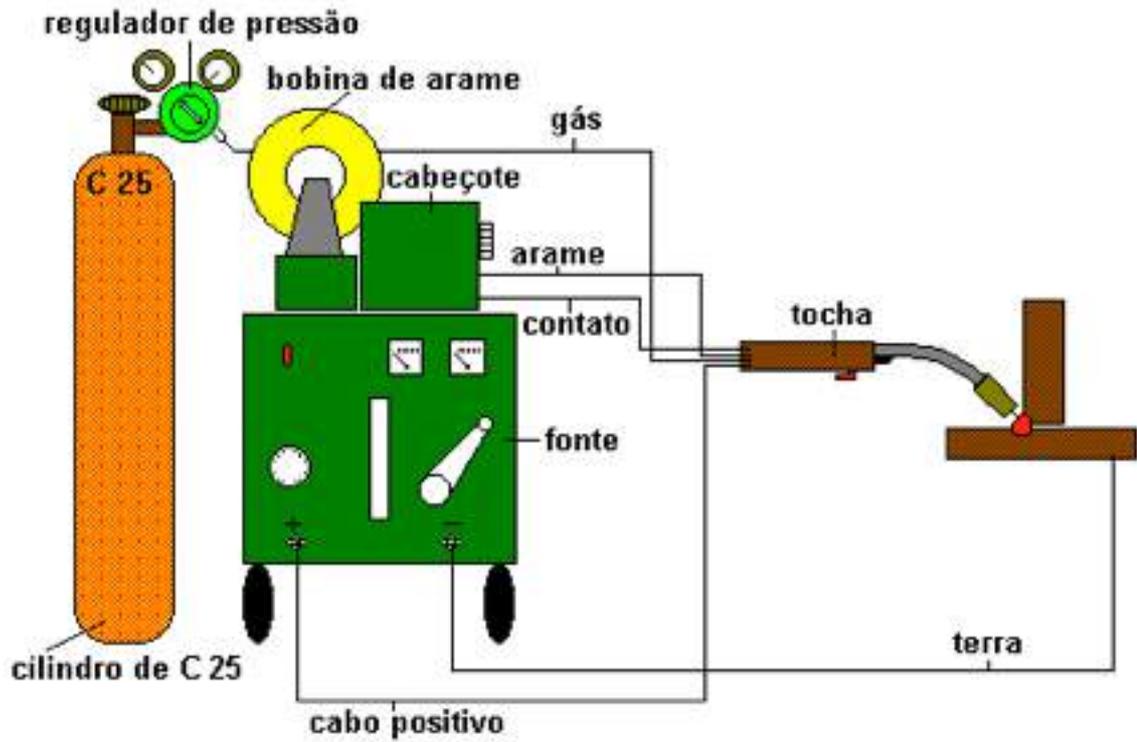
## 20. SOLDAGEM COM ARCO SUBMERSO - SAW



## CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- O nome do processo deve-se ao fato do arco e do metal fundido estarem submersos numa cobertura de fluxo granular fusível que os protegem de contaminação pela atmosfera.
- Possibilita a soldagem com correntes acima de 1500 A.
- Possibilita a soldagem utilizando um ou mais arames para enchimento da junta;
- Existem arames para a soldagem de aços de baixo carbono, aços de baixa liga, aço inoxidável, aços cromo-molibdênio e aços ligados com níquel.
- Caracteriza-se por ser um processo que possibilita a utilização de altas velocidades de soldagem, apresenta altas taxas de deposição, proporcionando alta produtividade.
- Produz soldas de alta qualidade e penetração profunda.
- Não produz respingos e fumos durante a soldagem.
- A composição química e espessura do metal base, a acessibilidade da junta, a **posição da soldagem** e a frequência ou volume de solda a ser feito são fatores que definem o uso do processo SAW.
- Soldas em juntas de topo são realizadas somente na posição plana.
- Soldas em juntas de filete podem ser realizadas nas posições plana ou horizontal.
- Apresenta um custo elevado do equipamento comparado a outros processos.
- O grande porte do equipamento restringe a realização de soldas em campo.
- A ótima penetração inerente ao processo permite a realização de juntas de topo com chanfro reto em materiais de 12 mm ou mais de espessura, soldando somente de um lado, desde que alguma forma de apoio (*mata-junta*) seja usada para suportar o metal fundido.
- Soldas de um passe com até 8 mm de espessura e dois passes com até 16 mm de espessura são feitas em aço com uma junta de topo com chanfro reto e um apoio.
- Com vários passes, usando um ou múltiplos arames, qualquer espessura de placa pode ser soldada.
- Usando um único arame, soldas de filete até 9 mm de garganta podem ser feitas na posição horizontal com um passe.
- Soldas de filete maiores que 8 mm são feitas normalmente na posição plana ou por vários passes na posição horizontal.

## 21. SOLDAGEM COM ARAME SÓLIDO - GMAW



## **CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO**

- A concepção básica do GMAW iniciou-se em 1920, entretanto este somente se tornou comercial após 1948.
- Inicialmente, este era considerado para ser, fundamentalmente, um processo de alta densidade de corrente (corrente dividido pela área transversal do arame) onde se utiliza um gás inerte para proteção. Sua primeira aplicação foi na soldagem de alumínio. Por causa dessa característica, o processo era conhecido como MIG – Metal Inert Gas, denominação ainda utilizada para o processo.
- Evolução subsequente do processo incluiu a soldagem com baixas densidades de corrente e a utilização de corrente pulsada com aplicação em uma vasta faixa de materiais e emprego de gás ativo, processo conhecido como MAG – Metal Active Gás.
- O último desenvolvimento do processo foi a utilização de misturas de gases levando à aceitação formal do termo GMAW – Gas Metal Arc Welding para denominação do processo, devido à utilização de gases inertes, ativos e misturas.
- Todos os metais comercialmente importantes, tais como aços carbono, aços de alta resistência e baixa liga (HSLA), aço inoxidável, alumínio, cobre, titânio e ligas de níquel podem ser soldados com o processo GMAW, em todas as posições de soldagem através da escolha apropriada do gás de proteção, do arame e das variáveis de soldagem.
- Processo não produz escória.
- O arco deve estar protegido de correntes de ar que possam dispersar o gás de proteção. Isto pode limitar a soldagem em campo.
- Uma característica típica do processo GMAW é que dependendo dos parâmetros de soldagem, em especial corrente, diâmetro do arame, tensão e tipo de gás de proteção, consegue-se distinguir facilmente os três modos de transferência metálica: curto-circuito, globular e spray.

---

## **INFLUÊNCIA DO TIPO DE GÁS DE PROTEÇÃO NO MODO DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA**

A composição do gás de proteção tem efeito importante na tensão superficial do metal fundido. Mudanças na composição do gás podem afetar o tamanho da gota e, conseqüentemente, o modo de transferência metálica, para uma mesma condição de soldagem no processo GMAW:

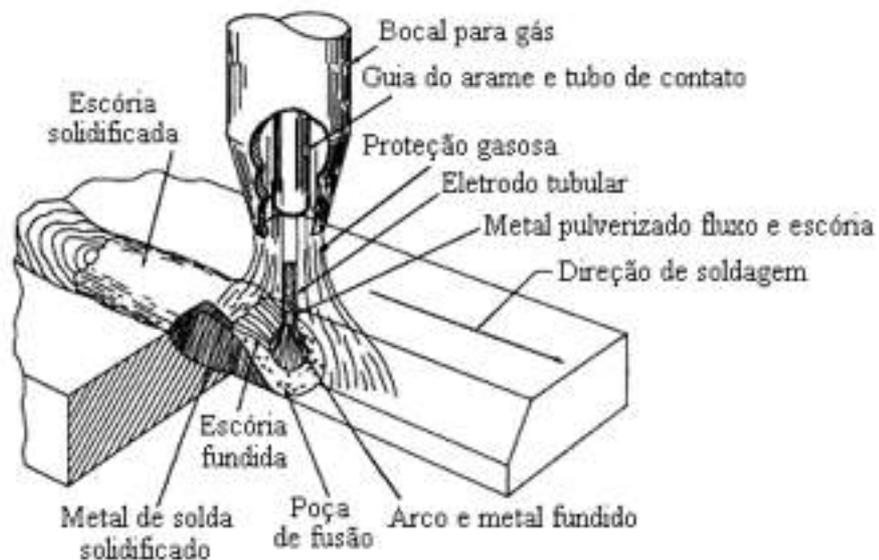
- Numa transferência por curto circuito, o gás CO<sub>2</sub> produz mais respingos em relação à utilização de gases inertes, por outro lado, produz maior penetração. Para encontrar uma boa combinação entre respingos e penetração, misturas de CO<sub>2</sub> e argônio são freqüentemente utilizadas na soldagem de aços carbono e baixa liga. A mistura mais utilizada é a adições de 25% de CO<sub>2</sub> ao argônio (gás comercialmente conhecido por C25).
- Adições de hélio ao argônio aumentam a penetração em metais não ferrosos com transferência por curto circuito.
- Utilizando gases inertes, com valor de corrente levemente maior que a utilizada na transferência por curto circuito, à transferência globular pode ser alcançada mais facilmente que utilizando o CO<sub>2</sub>.
- Proteção gasosa por CO<sub>2</sub> resulta em uma transferência globular somente quando a corrente de soldagem e a tensão do arco estão significativamente acima da faixa de curto circuito.
- Arcos protegidos somente com hélio ou com CO<sub>2</sub> não formam transferência spray em nenhum nível de corrente.
- Com proteção por argônio, a transferência spray pode ser utilizada em qualquer tipo de metal e liga devido às características inertes do gás. Entretanto, atenção especial deve ser dada na soldagem de chapas finas devido às altas correntes necessárias para produzir um arco spray.
- A adição de oxigênio ao argônio diminui a corrente de transição.

## 22. SOLDAGEM COM ARCO TUBULAR - FCAW

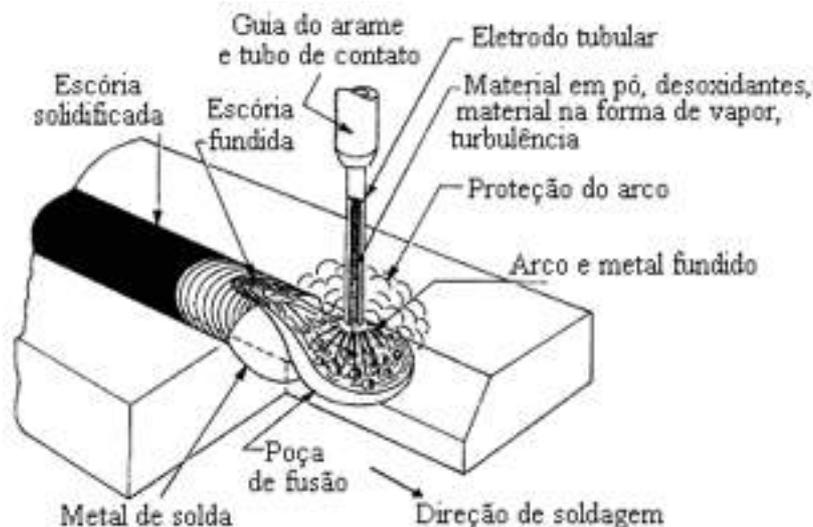
### CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- Equipamento utilizado neste processo é o mesmo utilizado no processo GMAW.
- Existem três tipos de arames tubulares disponíveis para o processo: arames tubulares com proteção gasosa, arames tubulares autoprotégido e arames tubulares do tipo metal cored com proteção gasosa.

#### Soldagem com proteção gasosa

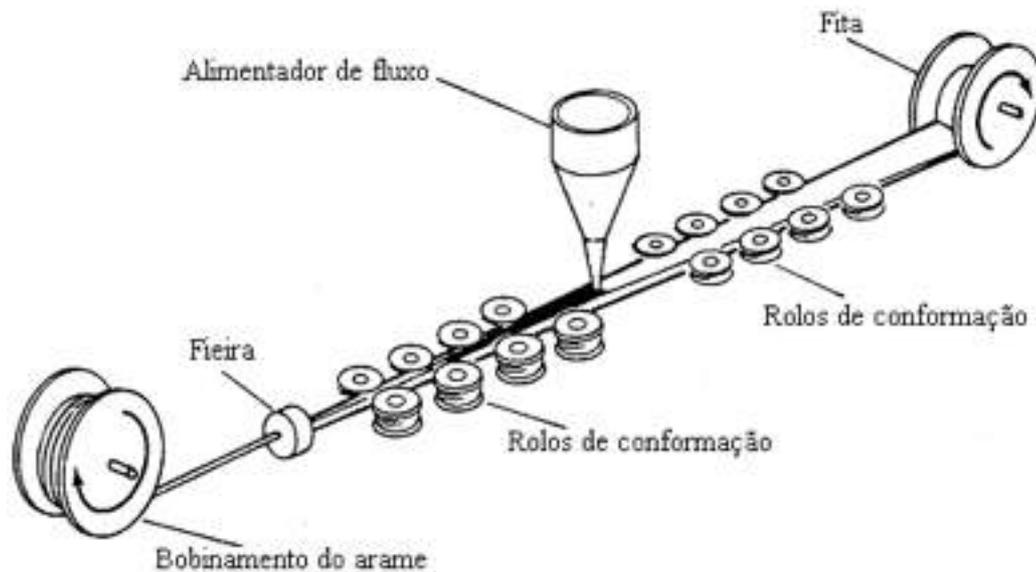


#### Soldagem com arame tubular autoprotégido



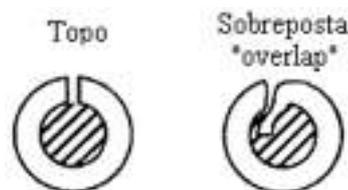
- No processo de fabricação de arames tubulares, uma fita ou fio máquina passa por um conjunto de rolos de conformação até sua seção transversal possuir o perfil "U", a seguir o fluxo interno é alimentado e outro conjunto de rolos de conformação fecha sua seção. Posteriormente, o arame tem seu diâmetro reduzido até atingir a dimensão desejada. Esta redução pode ser através da trefilação utilizando rolos e fieiras.

### Processo de fabricação (esquemática) do arame tubular



- Os arames tubulares podem ter diferentes tipos de seção. As mais usuais são com fechamento de topo e sobreposto (overlap).

### Seções de arames tubulares

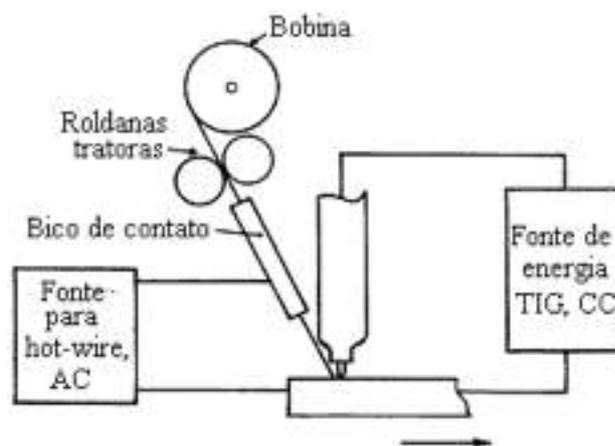


- O percentual de fluxo no interior do arame pode variar de 15 a 50% do seu peso. Este percentual vai depender, entre outros fatores, das funções a serem desempenhadas pelo fluxo. Arames tubulares auto-protegidos possuem percentuais de fluxo consideravelmente superiores aos que utilizam proteção gasosa.
- Com relação à composição do fluxo interno os arames tubulares com proteção gasosa e auto-protegidos podem ser básicos ou rutilicos. Os básicos produzem soldas com

excelentes propriedades mecânicas e baixos teores de hidrogênio e os rutílicos proporcionam uma soldagem "suave" e um cordão com excelente aspecto visual.

- Têm-se ainda os arames tubulares do tipo “metal cored”, que possuem alto percentual de pó de ferro em sua composição, proporcionam altas taxas de deposição.
- O processo FCAW se destaca por apresentar metal depositado de alta qualidade e solda com boa aparência visual.
- Entre os materiais soldáveis pelo processo FCAW pode-se citar aço carbono e baixa liga, aço cromo-molibdênio; aço ligado ao níquel, aço inoxidável e ligas de níquel.
- Em relação ao tipo de gás de proteção utilizado no processo FCAW, os mais usados são o dióxido de carbono e misturas deste com o argônio.
- O gás CO<sub>2</sub> é usualmente usado na transferência globular, porém algumas formulações de fluxo produzem transferência spray com o uso deste gás. Quando o CO<sub>2</sub> é aquecido a altas temperaturas pelo arco elétrico, dissocia-se formando monóxido de carbono (CO) e oxigênio (O<sub>2</sub>). O oxigênio proveniente desta dissociação reage com os elementos do metal de base formando óxidos. Normalmente, a temperatura de fusão dos óxidos formados é maior que a temperatura de fusão do metal de base, necessitando de mais energia para fundí-los. Este fato impede o tipo de transferência spray. Entretanto, materiais desoxidantes são adicionados ao fluxo dos arames tubulares para compensar os efeitos oxidantes do CO<sub>2</sub>, propiciando a transferência spray.
- A mistura mais usada no processo FCAW é 75% de Argônio e 25% de CO<sub>2</sub> (C25). O metal de solda depositado com esta mistura tem alto limite de escoamento e resistência à tração, comparado com o metal depositado com 100% de proteção com CO<sub>2</sub>.

## 23. SOLDAGEM COM ELETRODO DE TUNGSTÊNIO - GTAW

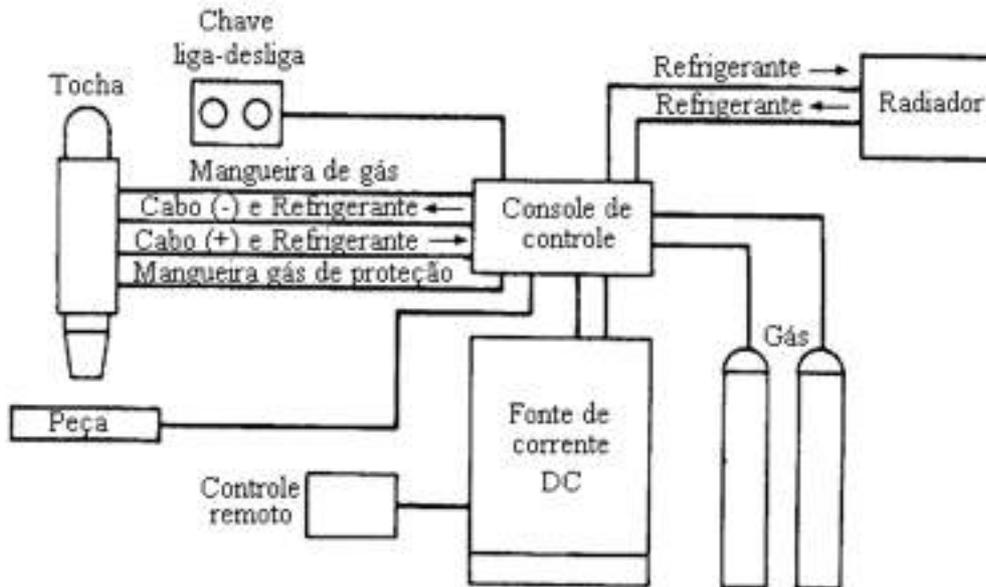


### CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- Trata-se de um processo de soldagem a arco elétrico que utiliza um arco entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a poça de soldagem.
- A proteção, tanto do arco quanto da poça e do eletrodo, se faz por gás inerte, argônio ou hélio.
- A tocha de soldagem TIG é refrigerada a gás ou a água (mais utilizada).
- O eletrodo utilizado no processo TIG pode ser de tungstênio puro ou ligado.
- O mais utilizado é o eletrodo de tungstênio com adição de óxido de tória.

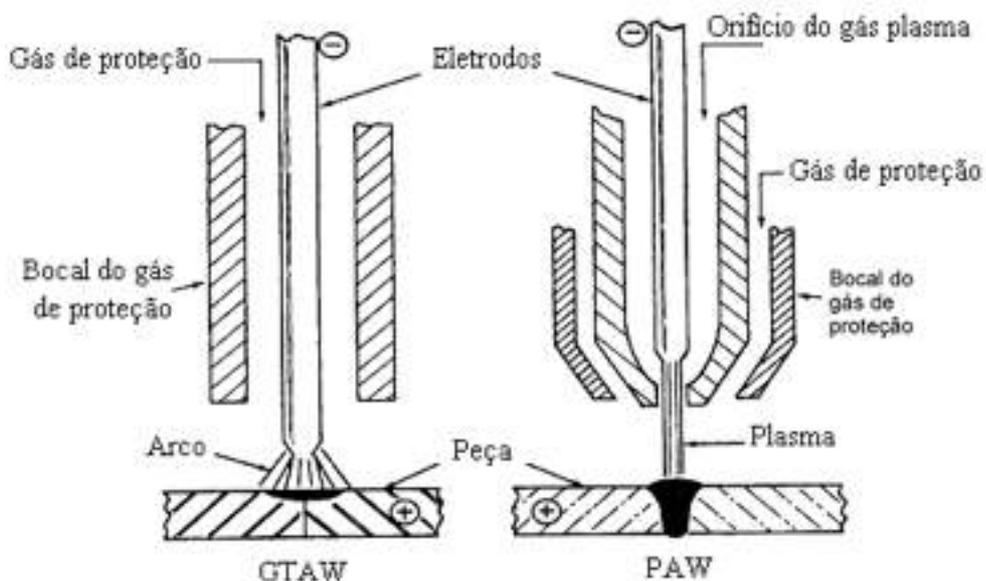
- O nível e tipo de corrente utilizada no processo é função direta do diâmetro e composição química do eletrodo.
- Os eletrodos de tungstênio puro possuem, no mínimo, 99,5 % de W e são extremamente utilizados na soldagem com corrente alternada, pois mantêm a extremidade da ponta do eletrodo limpa e arredondada, resultando em boa estabilidade do arco neste processo.
- Os eletrodos de tungstênio com óxido de tório, permitindo a operação em correntes mais elevadas (aproximadamente 20 %) que os eletrodos de tungstênio puro. A tória aumenta a emissividade termiônica do tungstênio. Por outro lado, na soldagem CA tornam-se deficientes, pois tem dificuldade de manter a extremidade arredondada.
- O processo pode ser utilizando com ou sem material de adição (autógeno).
- Permite um controle independente da fonte de calor e do material de adição.
- Pode ser usado em quase todos os metais, inclusive em metais dissimilares.
- Permite um controle preciso das variáveis da soldagem.
- Pode produzir excelentes soldas autógenas (sem adição) a altas velocidades.
- Está livre dos respingos que ocorrem em outros processos a arco com eletrodo consumível.
- Permite excelente controle na penetração de passes de raiz.
- Utiliza-se de fontes de energia de baixo custo.
- Apresenta baixa taxa de deposição e baixo rendimento térmico.
- Há necessidade de maior destreza e coordenação do operador em relação ao SMAW e GMAW.
- É menos econômico que os processos de eletrodos consumíveis para espessuras acima de 10 mm.
- Há dificuldade de manter a proteção em certos ambientes.
- Pode haver inclusões de Tungstênio.
- Pode haver contaminação da solda se o metal de adição não for adequadamente protegido.
- Há baixa tolerância a contaminantes no material de base ou adição.

## 24. SOLDAGEM A ARCO PLASMA - PAW



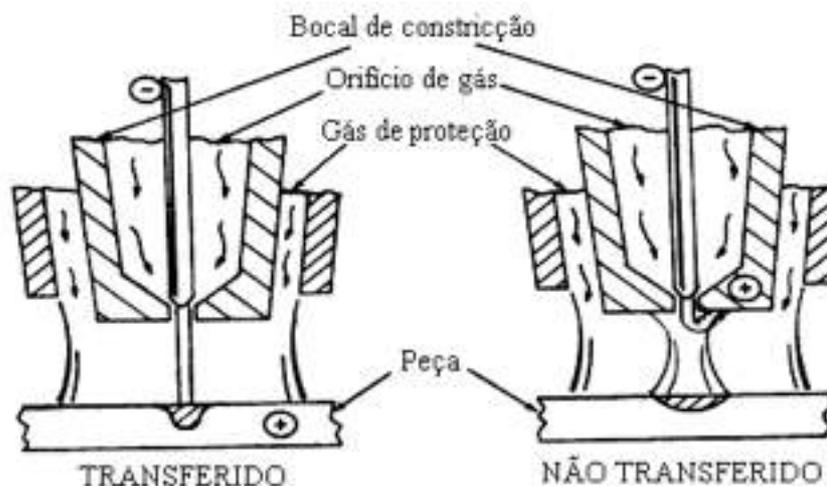
### CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- O processo PAW é basicamente uma extensão do processo GTAW. Entretanto, possui uma densidade de energia muito mais alta e a velocidade do gás é também bem mais alta, em virtude do plasma ser forçado a passar através de um bocal de constrição.



- A constrição do arco produz altas densidades de energia, o arco é bastante estável, o calor aplicado ao material de base é bastante concentrado e o cordão de solda é pouco afetado pela distância da tocha de soldagem em relação à peça.

- A tocha PAW tem uma câmara de gás ao redor do eletrodo (gás de orifício). O arco aquece o gás na câmara até uma temperatura em que se torna ionizado e conduz eletricidade. Este gás ionizado é definido como o Plasma, que sai do orifício do bocal a uma temperatura próxima de 17.000°C.
- Na maioria das aplicações, um gás auxiliar de proteção é fornecido através de um bocal externo, semelhante ao GTAW. O objetivo do gás de proteção é isolar a área do arco na peça de trabalho e evitar a contaminação da poça de fusão.
- O gás de proteção e o gás de orifício podem ser o mesmo. Pode-se utilizar um gás inerte puro ou uma mistura de gases inertes. Os mais utilizados são argônio, hélio, mistura de argônio/hélio e mistura de argônio/hidrogênio.
- Como o jato de gás é muito potente, pode causar turbulência na poça de fusão, as taxas de escoamento de gás de orifício variam de 0,25 até 5 L/min. Os gases de proteção escoam a taxas variando de 10 a 30 L/min.
- O processo PAW pode ser empregado na maioria dos metais e em todas as posições. Ele fornece um melhor controle direcional do arco e menores zonas termicamente afetadas, se comparado com o processo GTAW. O maior problema é o custo relativamente alto dos equipamentos e um treinamento mais consistente do operador.
- Para realização da solda com o processo PAW são utilizadas duas formas de arco: o transferido e o não transferido.



- **Arco Transferido:** o arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo e material de base. O arco transferido produz um aquecimento entre o ânodo e o fluxo de plasma. Este modo é utilizado para a soldagem propriamente dita, devido à maior energia transferida para a peça.
- **Arco não Transferido:** o arco elétrico é estabelecido e mantido entre o eletrodo e o bocal de restrição. Este modo é mais utilizado nos processos de corte e na união de peças de material não condutor ou para aplicações onde se deseja baixa concentração de energia.
- Os principais parâmetros do processo PAW são: corrente do plasma, diâmetro e forma do orifício, tipo de gás de orifício, taxa de escoamento do gás de orifício e tipo de gás de proteção.
- A diferença entre o processo de soldagem e corte com plasma depende das combinações dos 5 fatores citados acima, que podem ser ajustados para obter energias termicamente muito altas ou muito pequenas.
- Para o processo de corte, serão necessários: altas concentrações de energia e velocidade do jato de plasma, conseqüentemente serão preciso, alta corrente, diâmetro de orifício pequeno e alta taxa de escoamento de gás de orifício. Já para o processo de soldagem, é preciso um jato de plasma de baixa velocidade, ou seja, orifício maior, baixas correntes do arco e taxas de escoamento dos gases menores.

## 24. SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

“O princípio básico dos processos de soldagem por resistência elétrica consiste na passagem de corrente elétrica entre dois eletrodos (não consumíveis) que comprimem peças distintas (topo a topo ou sobrepostas)”.



**Fusão + Pressão**

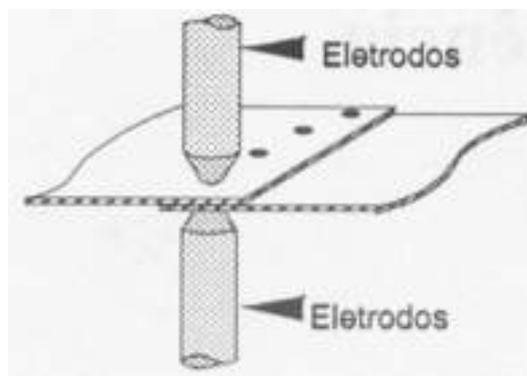
**Para soldar uma peça com esse processo, são necessário verificar 3 fatores:**

- ↳ Aquecimento (Efeito Joule)
- ↳ Tempo
- ↳ Força (pressão)

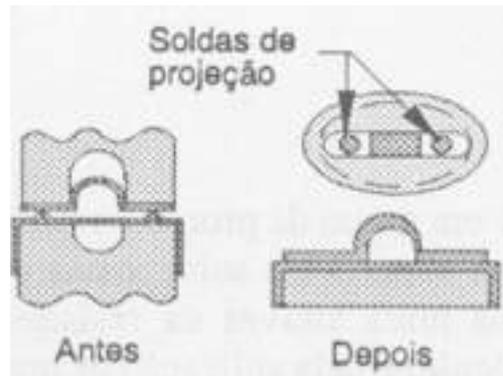
As peças a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra, por meio de eletrodos não consumíveis, fazendo passar por estes uma alta corrente. Esta ocasiona, segundo a Lei de Joule ( $Q_J = R I^2$ ), uma quantidade de calor proporcional à resistência elétrica, à intensidade de corrente e ao tempo, que deverá ser suficiente para permitir que a região de contato entre as peças a serem soldadas atinja o ponto de fusão (circuito percorrido pela corrente de soldagem).

### PROCESSOS DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

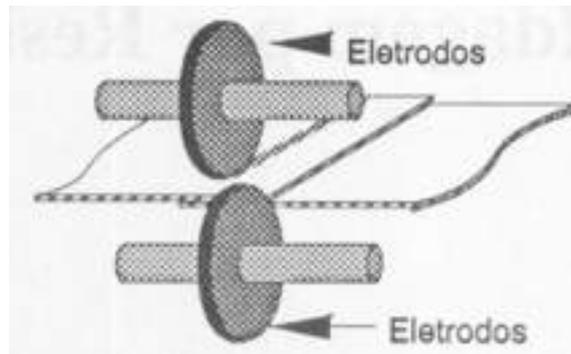
↳ **Soldagem por pontos:** a solda é obtida na região das peças que é colocada entre um par de eletrodos e várias soldas podem ser obtidas simultaneamente pela utilização de vários pares de eletrodos.



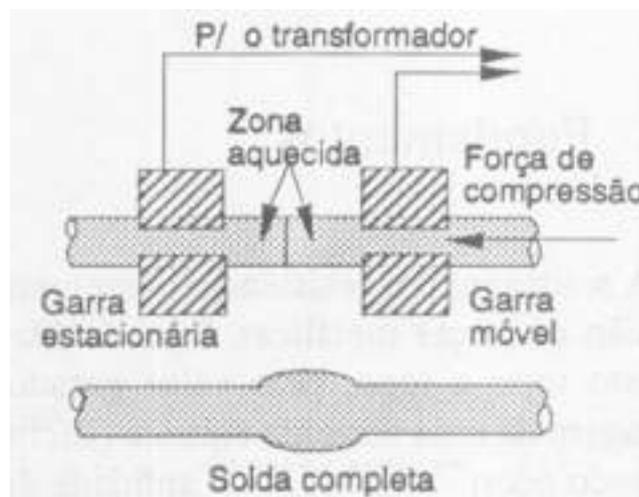
↳ **Soldagem por projeção:** processo similar ao anterior, sendo que a soldagem ocorre em um local determinado por uma projeção ou saliência em uma das peças. Duas ou mais soldas podem ser obtidas com um único par de eletrodos.



↳ **Soldagem por costura:** uma série de pontos de solda consecutivos é realizada de modo a produzir uma solda contínua, por sobreposição parcial dos diversos pontos. Normalmente, um ou ambos os eletrodos são discos ou rodas, que giram enquanto as peças a serem unidas passam entre eles.

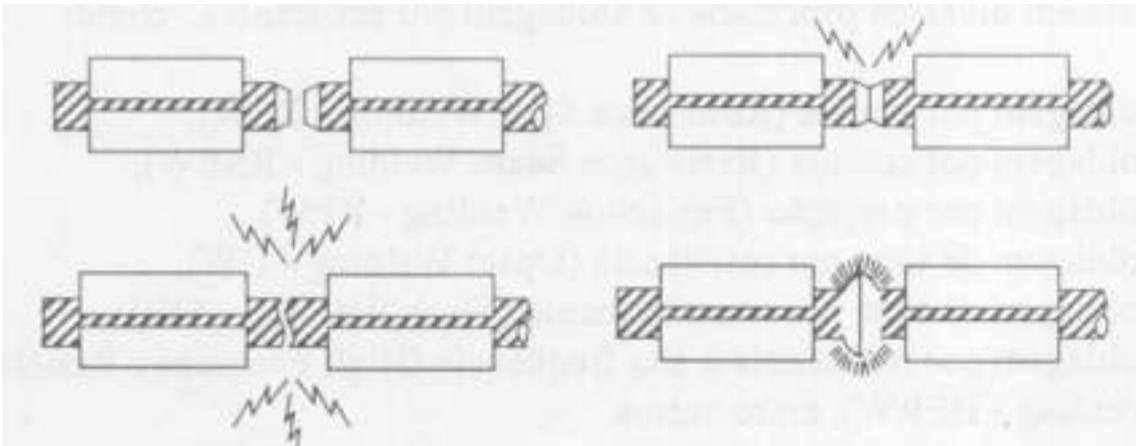


↳ **Soldagem de topo por resistência:** a corrente elétrica passa através das peças, que são pressionadas frente a frente.

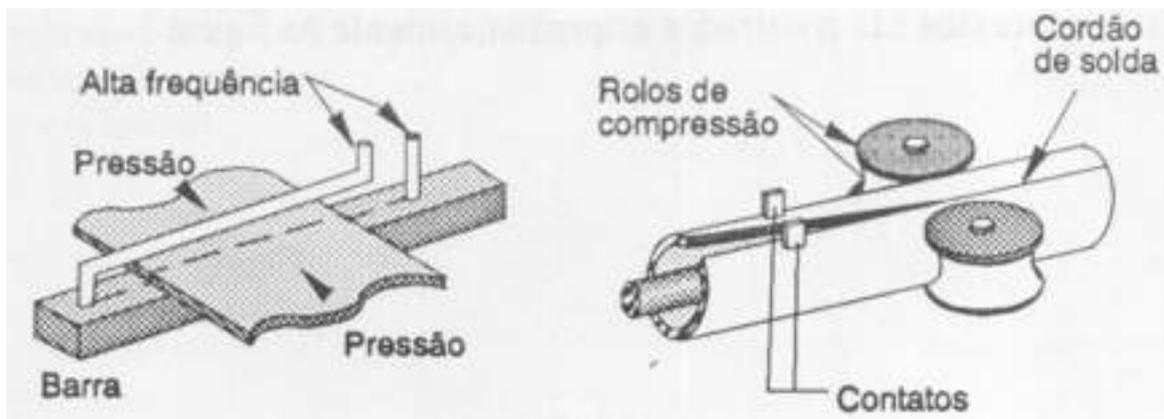


↳ **Soldagem por centelhamento:** as peças são energizadas antes de entrarem em contato e suas faces são aproximadas até que o contato ocorra em pontos discretos da superfície da junta, gerando centelhamento. Tanto neste processo quanto no anterior, existe um estágio

final, quando as faces suficientemente aquecidas são fortemente pressionadas uma contra a outra, sofrendo uma considerável deformação plástica que consolida a união.

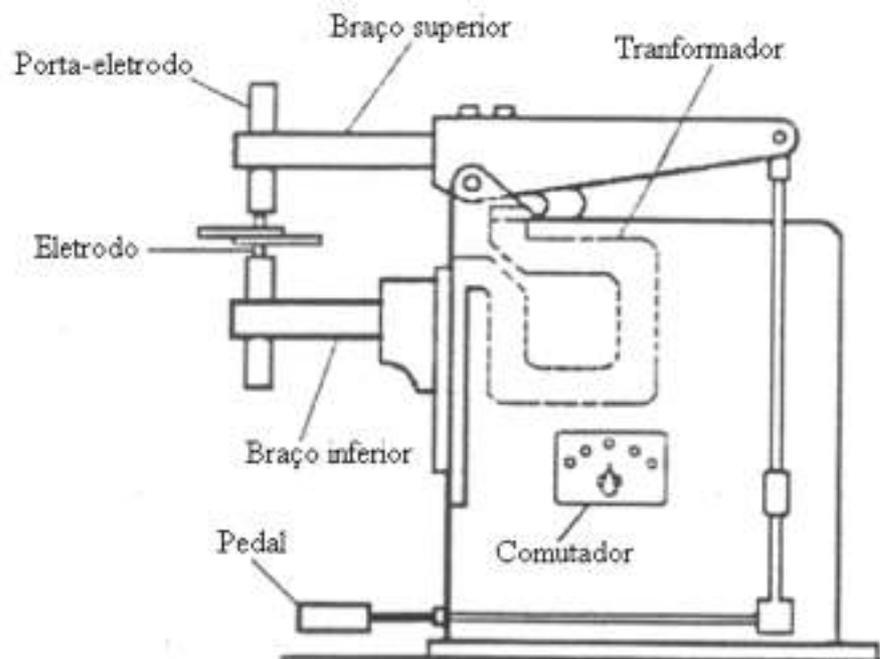


↳ **Soldagem por alta frequência:** a solda é obtida pelo calor gerado pela resistência à passagem de uma corrente elétrica alternada de alta frequência e pela aplicação rápida de pressão.



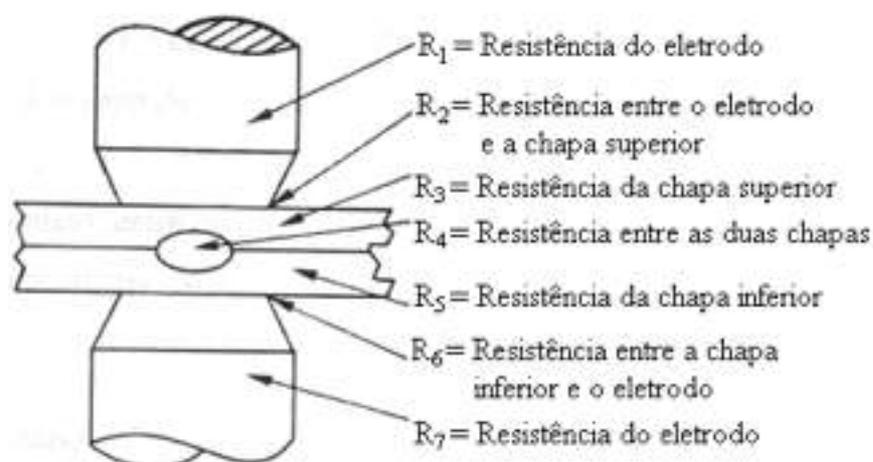
Em todos os processos de soldagem por resistência elétrica envolvem a aplicação coordenada de pressão mecânica e passagem de corrente elétrica, com intensidade e duração controlada.

## SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA POR PONTOS



Para efetuar uma boa solda é necessário que as peças façam um bom contato metal - metal. Todos os elementos (peças e eletrodos) devem ser concebidos de tal maneira que permitam a corrente de soldagem chegar ao ponto desejado pelo caminho mais curto.

### Resistências equivalentes ao circuito de solda a ponto



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$$

- As resistências elétricas dos eletrodos ( $R_1$  e  $R_7$ ) são as mais baixas, pois estes são fabricados com ligas metálicas de alta condutividade elétrica e térmica, portanto, pode ser desprezada para efeito de cálculo da resistência equivalente.
- As resistências de contato entre eletrodos/peças ( $R_2$  e  $R_6$ ) têm uma influência considerável e devem ser minimizadas ao máximo: limpeza adequada das superfícies e um perfeito contato entre eletrodo/peça.
- As resistências dos metais de base ( $R_3$  e  $R_5$ ) são função de suas resistividades elétricas ( $\rho$ ), podendo ser calculadas por:

$$R_{2-6} = \rho \frac{L}{A}$$

R: resistência do metal base ( $\Omega$ );

$\rho$ : resistividade elétrica do metal base ( $\Omega.m$ );

L: comprimento do condutor (m);

A: área da seção transversal do metal base ( $m^2$ ).

- A resistência de contato entre as chapas do metal base ( $R_4$ ) é devido à aspereza das superfícies em contato, sujeiras, óleos, graxas e outros.

## ELETRODOS

Na soldagem por resistência elétrica por ponto, os eletrodos têm a função de conduzir a corrente de soldagem até o ponto de solda, aplicar a força necessária para unir as peças a serem soldadas e dissipar parte do calor gerado durante o processo. Por estes motivos, os eletrodos devem ser projetados para resistir a altas densidades de corrente e alta pressão, sem alterar suas propriedades físicas, metalúrgicas, elétricas e mecânicas. Portanto, devem possuir:

- Condutibilidade elétrica e térmica elevadas;
- Resistência de contato baixa;
- Resistência mecânica elevada a altas temperaturas: alto ponto de amolecimento - temperatura na qual há um período de tempo determinado, o material perde grande parte de sua dureza;
- Fraca tendência para formar ligas com o material de base;
- Resfriamento absolutamente seguro das pontas dos eletrodos;
- Grande resistência à compressão e boa resistência ao atrito.

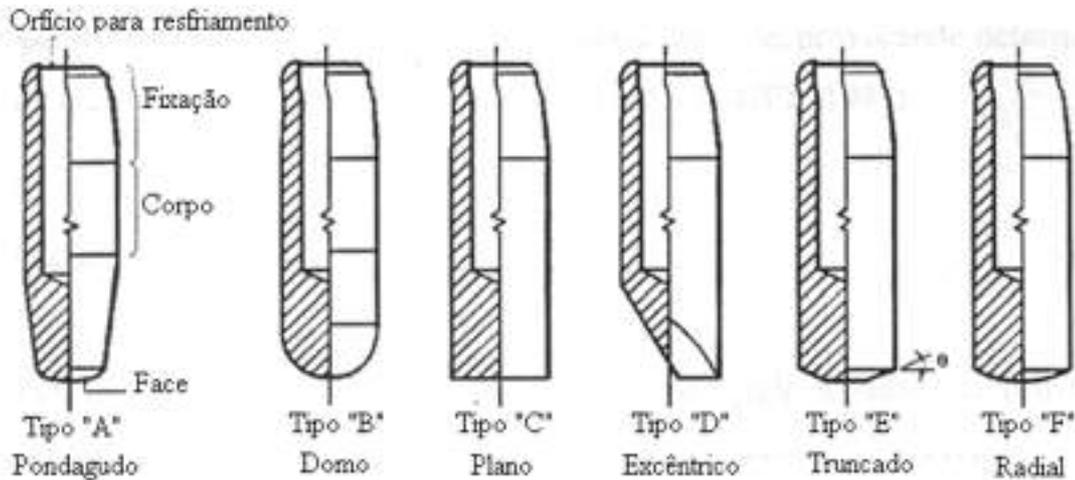
### ⇒ Materiais dos eletrodos

- Cobre – Cromo
- Cobre - Cromo – zircônio
- Cobre – Cádmio

- Cobre – Berílio

### ⇒ Tipos de eletrodos

- A geometria dos eletrodos também tem grande influência na qualidade da solda e deve ser otimizada em função do tipo de material a ser soldado e em qual posição a solda será realizada.



## PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Os parâmetros mais importantes na soldagem por resistência elétrica por ponto são a corrente de soldagem, a resistência elétrica do circuito, o tempo e a força aplicada pelos eletrodos juntamente com sua geometria, preparação e tipo de material. Também devem ser consideradas as propriedades do material de base.

### ⇒ Corrente de soldagem

- É a variável de maior efeito na geração do calor, visto que está elevada ao quadrado na equação de Joule. Pode ser alternada ou contínua.

### ⇒ Resistência elétrica do circuito

- Corresponde à soma de todas as resistências envolvidas no circuito de soldagem.
- Dentre as resistências envolvidas, a que tem grande relevância é a resistência de contato entre as peças, pois é onde se formará o ponto. Esta resistência pode e deve ser controlada pela condição superficial das peças a serem unidas e pela força aplicada pelos eletrodos.

### ⇒ Tempo de soldagem

- A quantidade de calor gerado na junta é diretamente proporcional ao tempo de passagem da corrente elétrica. Portanto, este tempo deve ser otimizado em função dos demais parâmetros de soldagem.

⇒ **Força**

- A força aplicada pelos eletrodos não influencia diretamente na quantidade de calor gerada no processo, mas indiretamente, através de seu efeito na resistência de contato entre as peças.

⇒ **Geometria dos eletrodos**

- Os eletrodos na soldagem por resistência elétrica por ponto estão sujeitos a grandes tensões mecânicas e elevadas temperaturas. Por isto, o desgaste na ponta do eletrodo é inevitável alterando sua geometria. Como a área da ponta do eletrodo influi na densidade de corrente, esta deve ser controlada para evitar alterações no fluxo de corrente.

⇒ **Metal de base**

- Este influencia na soldagem por resistência elétrica por pontos através de sua espessura, condição superficial, encruamento, condutividade térmica e elétrica e composição química.
- A espessura do material influencia na formação do ponto de solda, tanto na geração como na dissipação de calor. Quanto maior a espessura, mais elevado deve ser o nível da corrente e do tempo de soldagem e menor será a influência dos eletrodos na taxa de resfriamento da solda. Na soldagem de chapas finas, deve-se utilizar um menor nível de corrente e um baixo tempo de soldagem e é forte a influência dos eletrodos na taxa de resfriamento da solda.
- A condição superficial das peças tem influência na geração de calor porque a resistência de contato é afetada pela irregularidade das superfícies, presença de óxidos, sujeiras, óleo e outros materiais estranhos.
- O material com taxa de encruamento elevado, em geral, apresenta alta resistividade, portanto, maior aquecimento.
- A condutividade térmica e elétrica do material devem ser baixa.
- A composição química do metal de base influencia na geração de calor, devido ao aumento dos elementos de liga, pois, normalmente, quanto maior o número de elementos de liga, maior a resistividade e conseqüentemente maior o aquecimento por efeito Joule.

## **QUALIDADE DA SOLDA**

**Uma solda a ponto de boa qualidade deve apresentar as seguintes características:**

- Boa aparência superficial;

- Dimensões apropriadas;
- Boa resistência mecânica;
- Boa ductilidade;
- Ausência de descontinuidade.

### Os fatores que influenciam diretamente na qualidade da solda são:

- Espaçamento entre eletrodos;
- Condições dos materiais;
- Uniformidade dos pontos de solda;
- Rebarbas e ondulações;
- Aquecimento;
- Tempo;
- Pressão;
- Resistência mecânica.

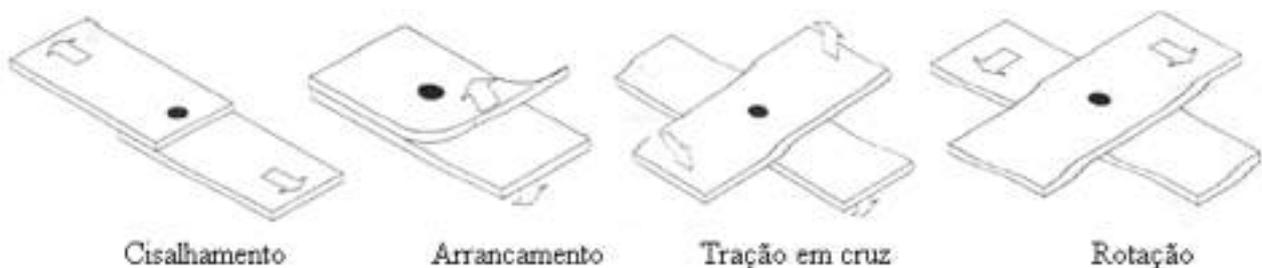
### ⇒ Ensaios para qualificar soldas por pontos

Estes podem ser metalográficos ou mecânicos. Os exames metalográficos fornecem dados qualitativos e quantitativos sobre a estrutura e a microestrutura do material. Os exames mecânicos são classificados como destrutivos e não destrutivos.

A inspeção visual é um dos ensaios não-destrutivo mais utilizados na prática. Além deste, existe o teste por inspeção ultra-sônico e o teste da resistividade.

Os testes mecânicos destrutivos são extremamente utilizados e consistem em submeter o ponto de solda a um esforço mecânico até romper ou destruir a junta soldada por cisalhamento, arrancamento, tração em cruz e rotação.

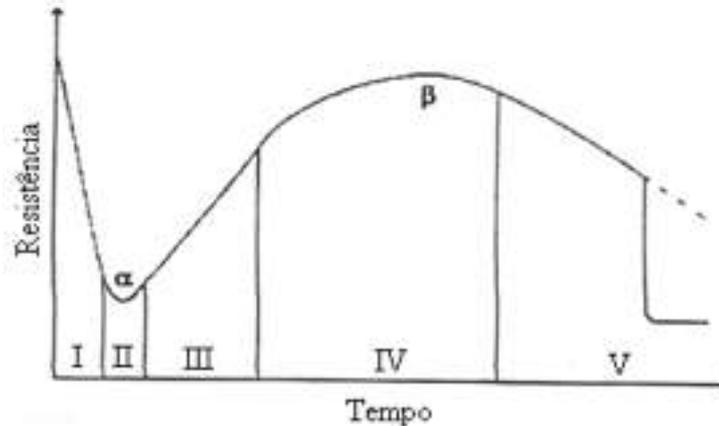
### Tipos de ensaios destrutivos para verificar a qualidade da solda a ponto



Dos testes apresentados acima, no meio industrial, a qualidade do ponto de solda é normalmente avaliada em função do teste de arrancamento, o qual fornece o diâmetro do ponto de solda e o tipo de fratura. Se no resultado ocorrer ruptura do tipo botão (rompimento fora do ponto de solda), a solda é aprovada. Por outro lado, se a ruptura for do tipo interfacial (rompimento parcial ou total no ponto de solda), a solda é rejeitada.

Outro método que está sendo utilizado para avaliar a qualidade da solda a ponto consiste na monitoração da resistência dinâmica desenvolvida durante o processo. Conhecendo a variação instantânea da tensão e da corrente de soldagem (estas podendo ser monitoradas por um sistema de aquisição de dados) e dividindo um valor pelo outro, encontra-se a curva da resistência dinâmica do processo.

### Representação da curva de resistência dinâmica



A variação desta curva no tempo apresenta características que podem ser relacionadas com a formação do ponto.

- **Trecho I:** Representa uma queda de resistência dinâmica. A resistência inicial é alta, devido à presença de impurezas na superfície dos metais como óxidos, graxas e óleos que são maus condutores de corrente e devido ao pequeno contato entre as partes por causa das micro-irregularidades superficiais. Com o passar do tempo, a temperatura aumenta, provocando a fusão dos óxidos e queima das graxas e óleos e, ao mesmo tempo, o amolecimento das rugosidades, aumentando a área de contato, facilitando o fluxo de corrente e diminuindo a resistência dinâmica.
- **Trecho II:** Caracterizado por dois momentos distintos. No primeiro, diminuição da resistência dinâmica devido à diminuição da resistência de contato entre as peças, causada pelo amolecimento das últimas rugosidades e aumento da área de fluxo de corrente. No segundo, aumento da resistência dinâmica do material, devido ao aumento da temperatura, que por sua vez, causa um aumento da resistividade e diminuição da condutividade. Este trecho apresenta um ponto de inflexão (ponto  $\alpha$ ), onde no primeiro momento é dominante a curva decrescente e num segundo, a curva crescente.
- **Trecho III:** Aumento da resistência dinâmica do material, pois a resistividade do material aumenta com o aumento da temperatura. No final desta fase dá-se o início da formação do ponto de solda.

- **Trecho IV:** Caracterizado por dois momentos. No primeiro, o aumento da resistência com o aumento da resistividade elétrica do material, devido ao aumento da temperatura. No segundo momento, diminuição da resistência pelo encurtamento da distância entre os eletrodos, causada pela deformação do material de base com a penetração do eletrodo na superfície do metal e pelo gradativo desaparecimento da interface peça/peça com o crescimento do ponto de solda. Este trecho apresenta um ponto de deflexão (ponto  $\beta$ ).
- **Trecho V:** Diminuição da resistência dinâmica devido ao desaparecimento por completo da interface peça/peça, no local do ponto de solda, e crescimento do ponto até atingir seu diâmetro máximo, onde o material fundido fica retido dentro de uma região conhecida como coroa, formando um “selo”.

### VANTAGENS DA SOLDADA PONTO

- Adaptabilidade para automação em montagens de chapas em linhas de fabricação: robotização.
- Alta velocidade.
- Econômico.
- Precisão dimensional.

### LIMITAÇÕES DA SOLDADA PONTO

- Dificuldade para manutenção e reparo.
- Geralmente o equipamento é mais caro que o para soldagem a arco.
- Demanda mais energia da rede elétrica.
- Baixa resistência à tração e a fadiga.
- Cada ponto é um ponto!!!

### APLICAÇÕES DA SOLDADA PONTO

⇒ **Com o processo solda-se:**

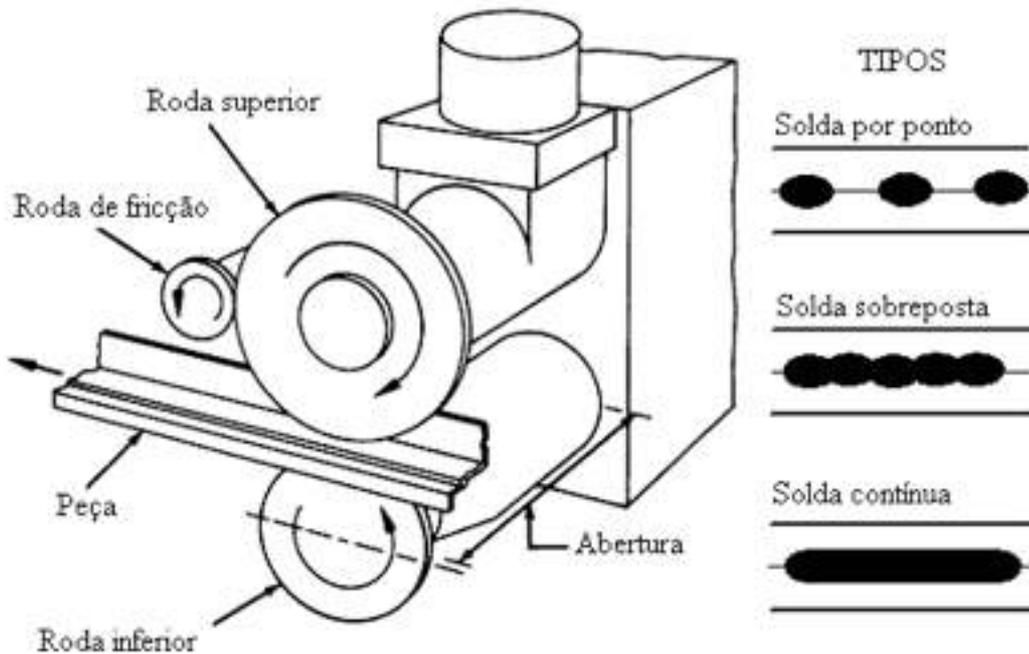
- Aço, incluindo aço galvanizado;
- Ligas de zinco;
- Ligas de cobre;
- Ligas de alumínio;

Só se podem soldar entre si metais de natureza diferentes quando susceptíveis a formar uma liga ou quando se introduz entre eles um material intermediário que pode ligar-se aos metais base.

⇒ **Materiais que prejudicam a soldagem são:**

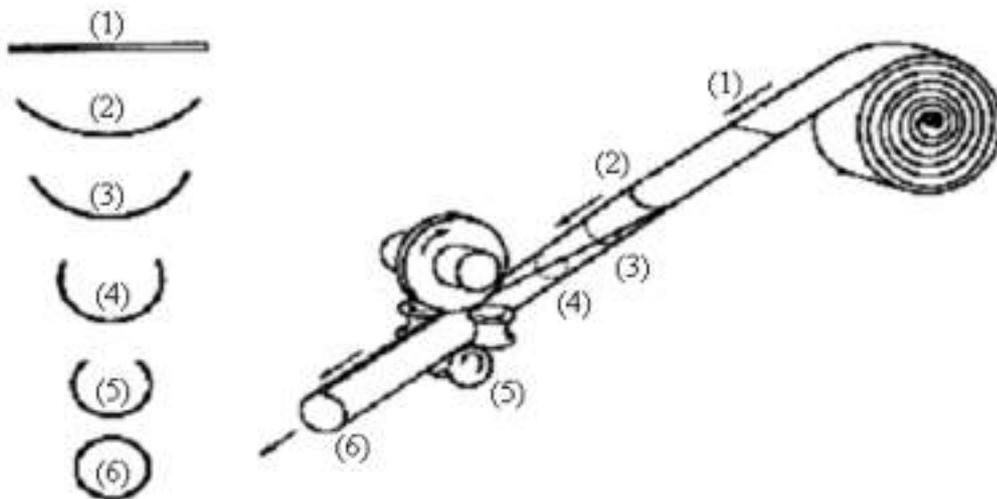
- Ferrugem, verniz, óleo, graxa e gordura.

## SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA POR COSTURA



Neste método, eletrodos em forma de discos (não-consumíveis) transmitem corrente e pressionam as peças a serem soldadas. Os discos giram enquanto as peças a serem soldadas passam entre eles. Geralmente são realizadas juntas contínuas, através da sobreposição parcial de diversos pontos das soldas, mas a mesma também pode ser realizada por pontos isolados. Apesar de ser possível produzir soldas contínuas pelo método de soldagem por pontos (sobrepondo-os), a operação não é prática.

### Soldagem de tubos com costura



---

## **25. SOLDAGEM NA FASE SÓLIDA**

---

**Processo de soldagem por pressão**



**Não ocorre fusão das partes a serem unidas**



**Utiliza fonte de energia mecânica**



**Utiliza o calor gerado a partir de movimentos mecânicos.**

**Utiliza a dispersão ou ruptura dos filmes existentes sobre as superfícies, realizando a soldagem sob pressão.**

### **PRINCIPAIS PROCESSOS**

- Soldagem por forjamento;
- Soldagem por pressão a quente;
- Soldagem por pressão a frio;
- Soldagem por difusão;
- Soldagem por ultra-som;
- Soldagem por fricção;
- Soldagem por explosão.

### **DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM NA FASE SÓLIDA**

#### **⇒ SOLDAGEM POR FORJAMENTO**

Provavelmente é o mais antigo processo nesse grupo. O mesmo consiste em aquecer as partes das peças que se quer soldar (geralmente de maneira rudimentar), seguindo-se de martelamento das regiões que são postas em contato. Dessa forma, os óxidos superficiais são expelidos e os metais se deformam plasticamente, ocorrendo uma união metalúrgica.

#### **⇒ SOLDAGEM POR PRESSÃO A QUENTE**

As partes das peças em contato que serão unidas são mantidas sob pressão e aquecidas até temperaturas abaixo do solidus do material. Após algum tempo, a união se realiza.

O aquecimento pode ser efetuado por chama, indução elétrica ou corrente a alta frequência. Também é possível realizar o aquecimento através da passagem de uma corrente elétrica entre as partes em contato: aquecimento por efeito Joule. Quando a temperatura

conveniente é alcançada, a solda ocorre através de pressão. A pressão entre as peças é continuamente aplicada; os materiais se deformam plasticamente e, após certo tempo, a união é completada. Esse processo é geralmente utilizado na fabricação de tubos.

É importante ressaltar que este método difere dos métodos de soldagem por resistência elétrica, pois nestes há fusão das partes a serem unidas enquanto que nos processos de soldagem na fase sólida não ocorre fusão.

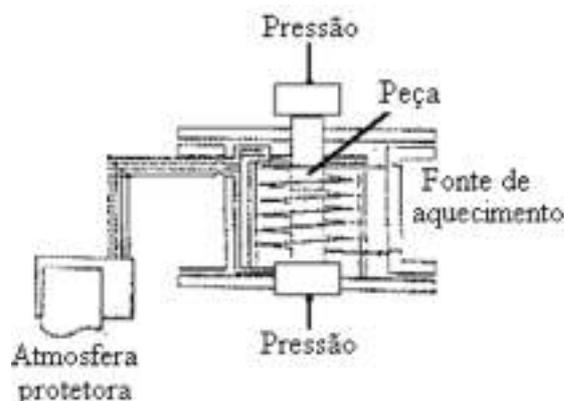
### ⇒ SOLDAGEM POR PRESSÃO A FRIO

Realiza-se a solda pressionando as peças que serão unidas, na temperatura ambiente. As superfícies em contato devem ser especialmente limpas. Os metais geralmente soldados por esse processo são o cobre e o alumínio, sendo a ductilidade dos mesmos um fator benéfico. A facilidade de realizar essa solda decresce com o aumento da dureza e com a queda da temperatura de fusão dos materiais envolvidos.

Este método baseia-se na destruição da superfície das peças, abrindo as camadas oxidadas e contaminadas na área de solda. Estas aberturas expõem as superfícies internas dos metais a serem soldados, facilitando o contato entre eles e gerando forças interatômicas suficientes e necessárias para formar a solda. A espessura sofre uma redução e a junta é formada. As soldas são produzidas de forma anular, ponto ou linhas. A pressão pode ser aplicada de forma mecânica, hidráulica ou pneumática.

A soldagem a frio é um processo com aplicações específicas que envolvem o desenvolvimento de produtos com um custo muito elevado. A maior parte das aplicações são recomendadas para materiais não ferrosos. Conseguem-se soldas de altíssima qualidade, porém ela só é conseguida se as juntas tiverem todo o excesso de óleo removido e o contato das faces tenha sido mecanicamente limpo (escovas de aço, etc.).

### ⇒ SOLDAGEM POR DIFUSÃO



## Principais parâmetros do processo

- Temperatura.
- Pressão.
- Tempo de contato entre as peças.
- Deformação das superfícies de contato.
- Qualidade superficial (rugosidade superficial e as condições de limpeza).
- Atmosfera Protetora.

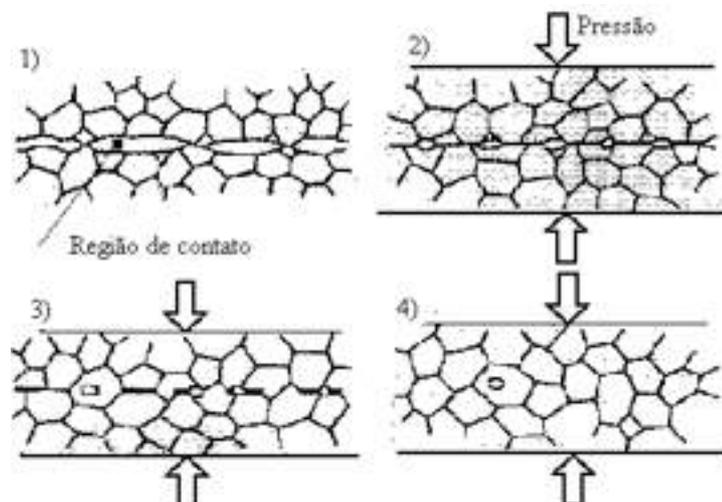
Este processo se caracteriza por ser feito no estado sólido. As temperaturas envolvidas no processo ficam abaixo da linha de solidus ou acima da temperatura de recristalização da liga envolvida. O processo de geração do calor é feito por energia elétrica que pode ser na forma de: indução, resistência ou alta frequência.

A temperatura, que junto com a pressão, é a variável que mais afeta o processo, promove um rompimento das camadas de óxido, promovendo uma interferência na estrutura cristalina do material, contribuindo para uma orientação favorável dos íons que é necessário para a difusão. Uma temperatura alta demais leva ao aumento do grão e, por conseguinte, à queda da resistência.

A pressão de soldagem pode ser aplicada pelos processos hidráulicos, pneumáticos ou mesmo mecanicamente, e em conjunto com o calor serve para provocar uma deformação plástica nas superfícies rugosas. Após esta fase, o contato das superfícies aumenta, possibilitando a união do material.

O tempo de Soldagem pode variar desde 10 minutos até várias horas. Existe uma relação inversa entre o tempo e temperatura, ao aumentar a temperatura de soldagem diminui-se o tempo de soldagem, e vice-versa.

## Seqüência do processo



- 1) As peças são colocadas em contato. Atenção especial deve ser dada para a rugosidade superficial, pois vários pontos podem não estar em contato.
- 2) Uma certa pressão e elevação temperatura são aplicadas às superfícies das peças, provocando deformações plásticas, a área de contato aumenta.
- 3) O tempo de permanência na temperatura e pressão, que podem estar aliadas á uma atmosfera protetora, favorece a difusão atômica entre as superfícies.
- 4) No estágio final, onde praticamente são eliminadas todas as descontinuidades encontradas no processo inicial, a soldagem é completada.

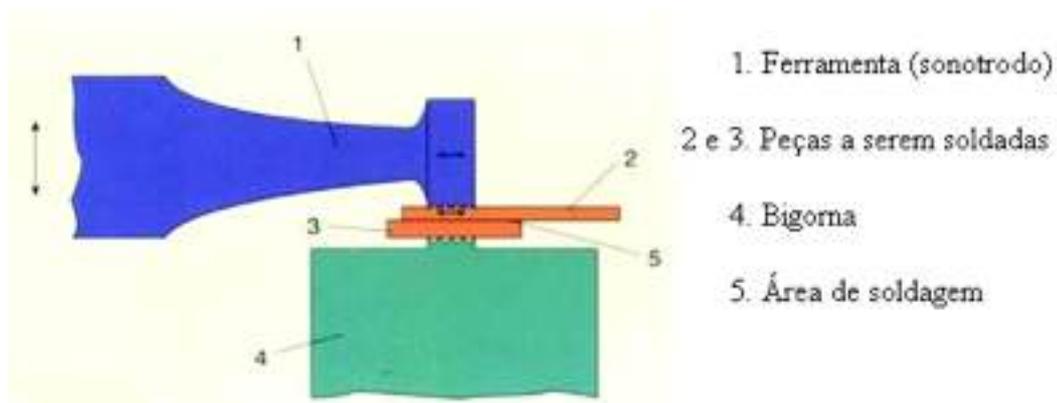
### Vantagens do processo

- Não modificar o estado do material.
- Indicado para montagem de grandes superfícies.
- Menores deformações quando comparados a solda por fusão.
- Montagens complexas, próximas ao estágio final.
- Juntas múltiplas em uma só operação.
- União de metais e materiais considerados não soldáveis ou de difícil soldabilidade por fusão (cerâmicas e ligas refratárias).
- União de metais dissimilares sob o aspecto metalúrgico (aços austeníticos com liga de alumínio).

### Desvantagens do processo

- Custo do investimento inicial alto.
- Não indicado para produção em grande escala.

### ⇒ SOLDAGEM POR ULTRA-SOM



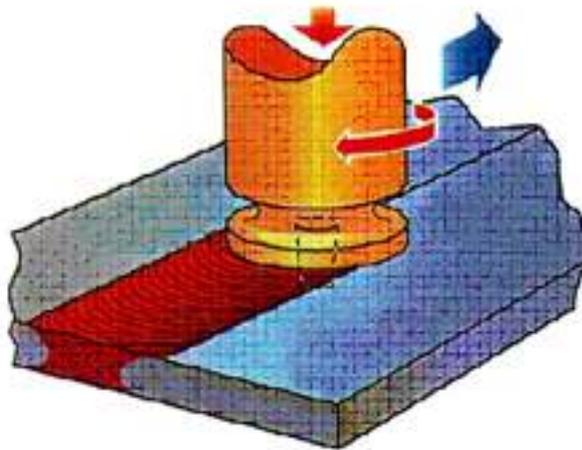
Obtém-se a união de metais similares ou dissimilares, através da aplicação de vibração ultra-sônica nas peças, mantidas em contato por moderada pressão. Essa vibração provoca a dispersão dos filmes superficiais e aumenta localmente a temperatura. O principal emprego desse processo é nas indústrias de componentes eletroeletrônicos.

Este processo envolve 3 fatores importantes: forças estáticas (pressão), forças de cisalhamento (vibrações) e aumento de temperatura. O valor destes fatores depende da espessura, condição da superfície e das propriedades dos metais.

As deformações e o aumento de temperatura, apesar de baixo, são restritos à área de soldagem. Não ocorre fusão dos metais. Não há adição de materiais. Nenhum consumível é utilizado. A ligação é caracterizada pela difusão. As superfícies da ferramenta são irregulares. Permite a união de materiais de alta condutividade térmica.

## ⇒ SOLDAGEM POR FRICÇÃO

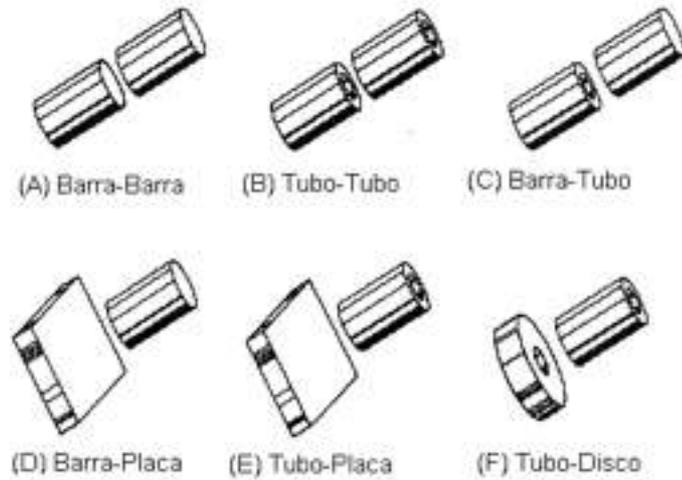
A solda é obtida pela rotação ou movimento relativo de duas peças sob forças compressivas, produzindo calor e deformando plasticamente o material nas superfícies de atrito.



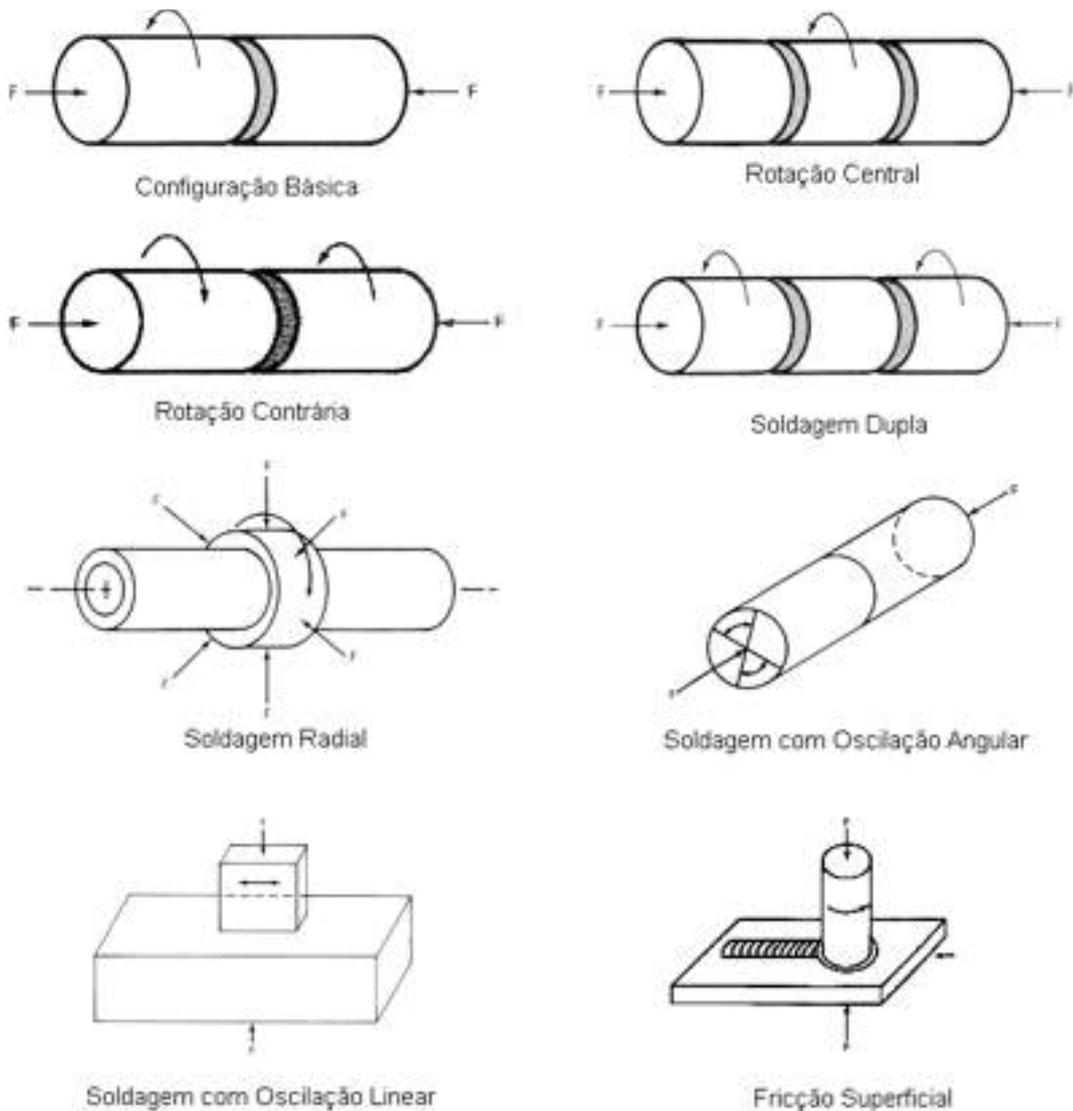
### **Características especiais do processo**

- Ausência de uma zona de fusão.
- Pequena zona termicamente afetada.
- Presença de material deformado plasticamente em torno do colar.

## Tipos de juntas



## Variáveis do processo



### **Vantagens do processo**

- Atenção especial com a limpeza da superfície não é necessária, uma vez que a soldagem por fricção tende a romper, deslocar, e finalmente remover os filmes de superfície no colar da solda.
- Metal de enchimento, fluxo, e gás protetor não são requeridos. Diferentemente dos processos por fusão, a soldagem por fricção não põe em risco a saúde do operador, além de mais seguro, porque não existem faíscas, radiação, fumaça, ou risco de problemas elétricos envolvendo alta voltagem.
- Defeitos associados aos fenômenos de solidificação, como porosidade e segregação, não estão presentes, uma vez que ele é um processo em estado sólido.
- É possível fazer juntas de metais dissimilares que são difíceis ou até impossíveis de serem soldadas por outros processos (por exemplo, metais refratários e exóticos).
- Processo é facilmente automatizado para reproduzir soldas de alta qualidade. O equipamento atual pode ser operado a até 4 quilômetros, sendo adequado para aplicações distantes em ambientes perigosos.
- Baixo calor introduzido e os rápidos ciclos de soldagem fazem com que o processo seja adequado para aplicações em oleodutos operantes, linhas de gás e linhas de metano.
- Estreita zona termicamente afetada associada ao processo.
- Consumível é adequado para uso dentro de atmosferas explosivas sem risco de ignição. Isto permite que a soldagem seja seguramente executada em áreas de instalações petroquímicas sem necessidade do desligamento do equipamento.
- Habilidades manuais não são exigidas.
- Na maioria dos casos, a resistência da solda é igual ou maior que a dos materiais a serem unidos.

### **Desvantagens do processo**

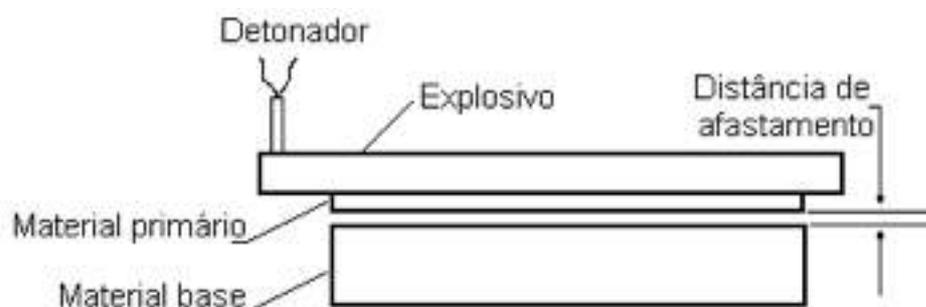
- A área de pelo menos uma peça deve ser simétrica, de forma que a parte possa girar sobre o eixo do plano de rotação. As geometrias típicas que podem ser soldadas por fricção são: barra com barra, barra com tubo, barra com chapa, tubo com tubo e tubo com chapa.
- Processo é normalmente limitado a fazer juntas de topo planas e angulares (ou cônicas).
- Material de pelo menos um componente deve ser plasticamente deformável sob as dadas condições de soldagem.
- Preparação e alinhamento das peças podem ser críticos para o desenvolvimento uniforme do atrito e aquecimento.
- Capital em equipamento e em ferramentas é alto.
- Ligas usinadas são difíceis de serem soldadas.

## ⇒ SOLDAGEM POR EXPLOSÃO

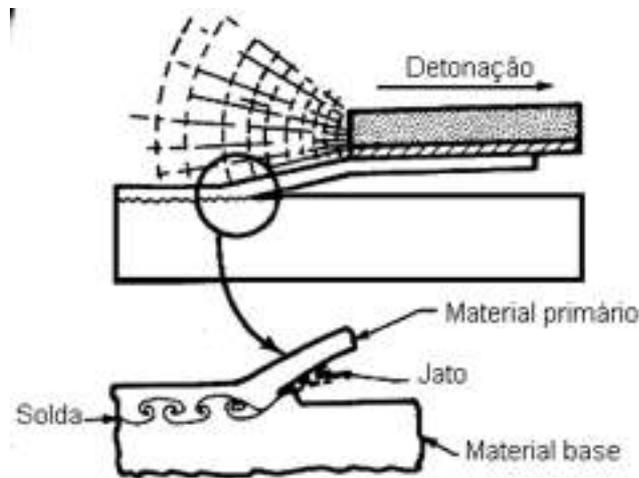
### Características do processo

- A solda é produzida pelo impacto, à alta velocidade, das peças a serem unidas, como resultado de uma detonação controlada.
- A explosão acelera os metais a uma velocidade que produz uma adesão metálica entre eles após a colisão.
- A solda é produzida em uma fração de segundo sem adição de metal.
- O processo ocorre essencialmente à temperatura ambiente para que não propicie um grande aquecimento das peças a serem unidas.
- As superfícies de contato, entretanto, são aquecidas pela energia de colisão, e a soldagem é conseguida pelo fluxo plástico do metal em suas superfícies.
- A solda é executada progressivamente junto com a explosão e as forças criadas avançam de uma extremidade da junta para outra.
- As deformações da soldagem variam com o tipo de junta. Porém, é possível obter deformações imperceptíveis em várias soldas e sem perda mensurável de metal.
- A soldagem é normalmente executada ao ar livre, mas também pode ser realizada em vácuo quando as circunstâncias o exigirem.
- Normalmente, a grande aplicação deste processo é para executar soldas em seções geométricas relativamente grandes, porém existem aplicações de sucesso em pequenas superfícies.
- Existem fundamentalmente três componentes:
  - Material de base
  - Material primário ou de caldeamento
  - Explosivo

### Arranjo típico dos componentes para soldagem por explosão



## Desenho esquemático mostrando o ponto de colisão



### Princípio de funcionamento do processo

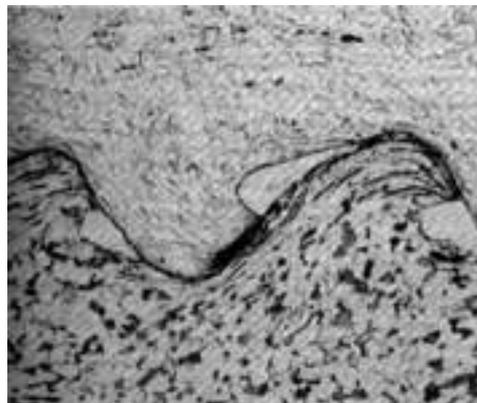
- O material de base permanece estacionário enquanto o primário é soldado a ele.
- O material de base pode ser suportado por uma matriz de apoio, quando ele é relativamente delgado.
- O material de base e de apoio (se utilizado) devem possuir massa suficiente para minimizar as distorções durante o processo de soldagem por explosão.
- Usualmente, o material primário é posicionado paralelo ao de base, porém, em situações especiais, pode ficar a um certo ângulo em relação ao material de base.
- No arranjo paralelo, os dois são separados por uma distancia especificada - distancia de afastamento.
- No arranjo angular, o afastamento pode ser ou não utilizado no vértice do ângulo.
- A explosão localizada dobra e acelera o material primário através do afastamento à alta velocidade, para que ele colida sob um certo ângulo com o material de base e seja realizada a soldagem.
- À frente de colisão, a solda progride através da junção conforme a explosão avança.
- O explosivo, normalmente em forma granular, é distribuído uniformemente sobre a superfície superior do material primário.
- A força que a explosão exerce sobre o material primário depende das características da detonação e da quantidade de explosivo.
- A maneira na qual o explosivo é detonado é extremamente importante. A detonação deve ser efetuada progressivamente através da superfície do material primário. A velocidade da detonação determina a velocidade na qual a colisão progride através da área de junção. A seleção de um explosivo que produz uma velocidade de detonação requerida é da maior importância para que se consiga uma solda de qualidade. Além disso, o explosivo deve providenciar uma explosão uniforme para que a velocidade de colisão seja uniforme do início ao fim da solda.

- Enquanto a detonação se move através da superfície do material primário, ambas as intensas pressões, a da frente de explosão e a gerada pela expansão dos gases imediatamente abaixo da frente de explosão aceleram o material primário a um certo ângulo e velocidade. Este ângulo e velocidade dependem do tipo e da quantidade de explosivo, da espessura de parede e propriedades mecânicas do material primário e da distância de afastamento empregada.
- As variáveis mais importantes do processo de soldagem por explosão são: velocidade de colisão, ângulo de colisão e velocidade do material primário. A intensa pressão necessária para se produzir a soldagem é gerada no ponto de colisão quando duas destas variáveis estão entre limites perfeitamente definidos. Estes limites são determinados pelas propriedades dos materiais a serem soldados. As pressões forçam as superfícies dos dois materiais a um íntimo contato e causa um fluxo plástico localizado na área imediatamente próxima ao ponto de colisão. Ao mesmo tempo o jato é formado no ponto de colisão. O jato varre para fora da superfície original de cada componente qualquer filme de contaminação que possa estar presente. Isto limpa o material, como é exigida para se obter uma soldagem metalurgicamente forte.
- A interface resultante entre os dois materiais soldados por este processo é normalmente como uma onda em uma microescala. O tamanho da onda depende das condições de colisão encontradas na soldagem.

### Propriedades dos materiais explosivos

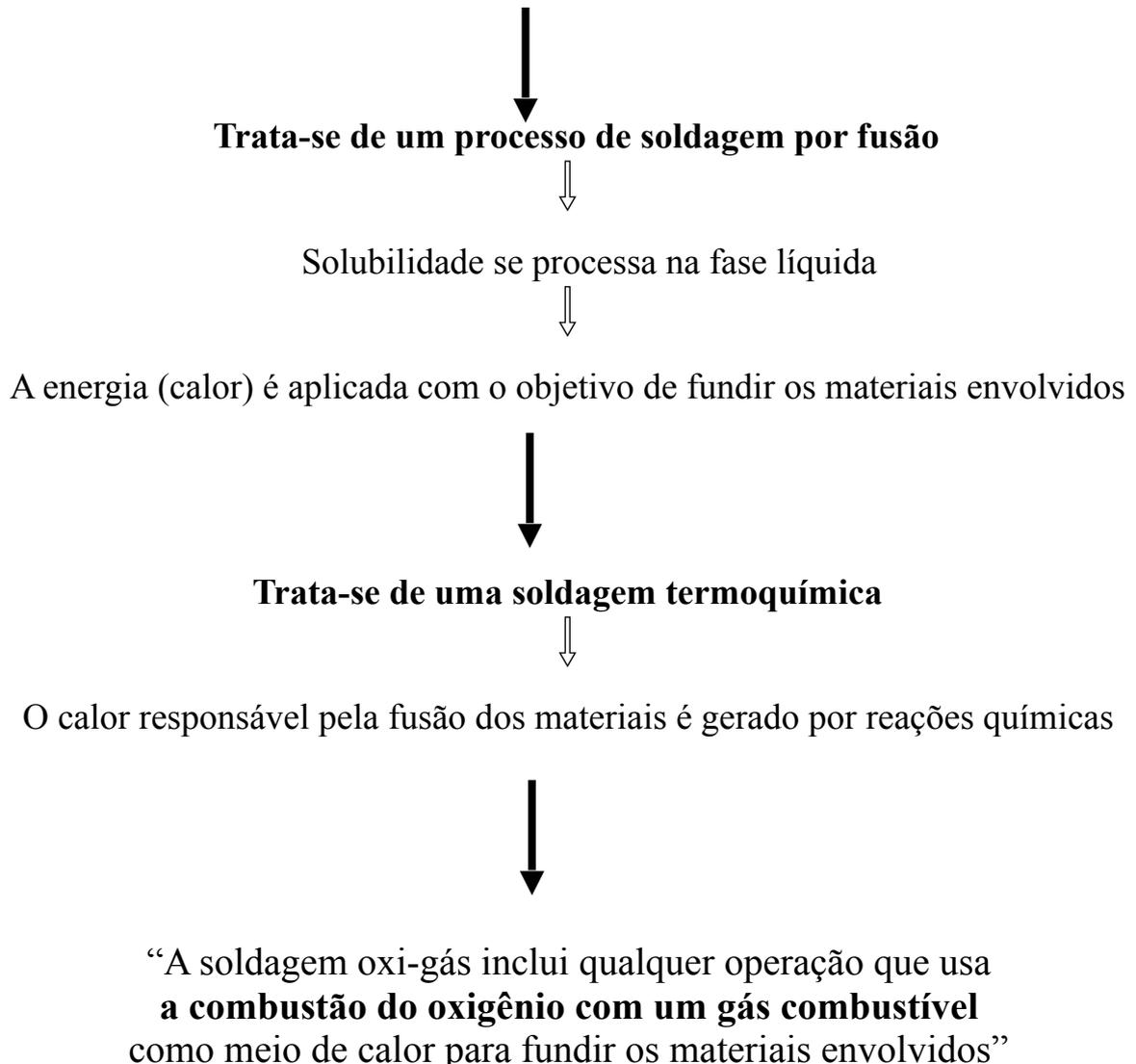
- Normalmente, os explosivos são granulares e sua composição baseia-se em nitrato de amônia. Isto permite que sua detonação ocorra em uma faixa de velocidade entre 2000 a 3000 m/s, necessária para alcançar, no ponto de colisão, as condições necessárias para uma ótima soldagem.

### Corte transversal de uma junta de soldagem por explosão



## 26. SOLDAGEM E CORTE A GÁS

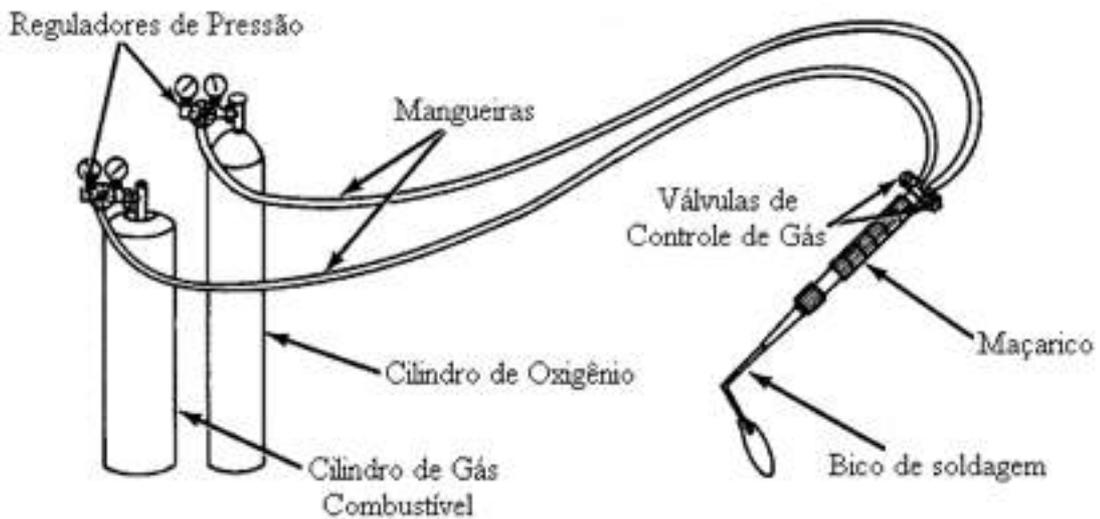
### PROCESSO DE SOLDAGEM COM CHAMA OXÍ-GÁS Oxi-Fuel Welding - OFW



**Vantagens do processo:** Equipamento de baixo custo, portátil e bastante versátil, apresenta uma variedade de acessórios para aplicações especiais aumentam a versatilidade do processo.

**Desvantagens do processo:** A operação de soldagem é inteiramente dependente da habilidade do soldador. O processo é normalmente limitado às operações leves. Utiliza-se gases a altas pressões que, sob certas condições, podem causar explosões dos cilindros.

## EQUIPAMENTO PARA A SOLDAGEM OXI-GÁS



### ⇒ Reguladores de pressão

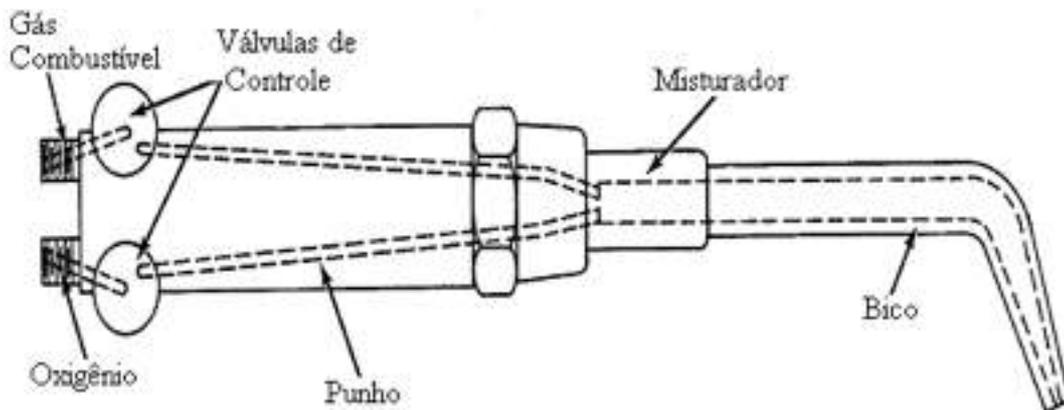
- Aparelhos mecânicos que tem como função manter a pressão de saída do gás constante e baixa independente de mudanças na pressão da linha.
- Podem ser de um ou dois estágios, dependendo se a pressão é reduzida em um ou dois passos.
- Equipados com dois manômetros, um indicando a pressão de admissão ou do cilindro e outro indicando a pressão de descarga ou do maçarico.
- Existe um regulador para cada cilindro.
- As conexões de admissão e descarga dos reguladores são de diferentes tamanhos e formas para impedir que um regulador seja conectado no cilindro errado.

### ⇒ Mangueiras

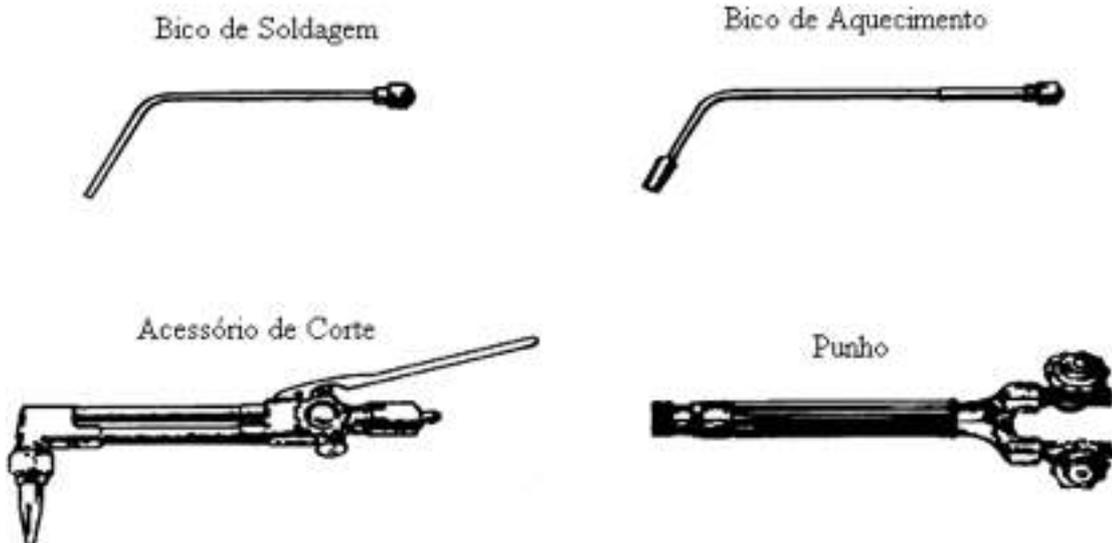
- São flexíveis.
- Resistem a altas pressões e moderadas temperaturas.
- Mangueiras de oxigênio são verdes e as conexões têm porcas planas com rosca direita.
- Mangueiras de gás combustível são vermelhas e as conexões têm porcas chanfradas com rosca esquerda.

## ⇒ Maçarico

- Consistem de um punho, um misturador e um bico.
- Apresenta um controle independente do fluxo de cada gás.
- Ao maçarico é possível conectar uma variedade de bicos.



## ⇒ Punho e bicos (acessórios)



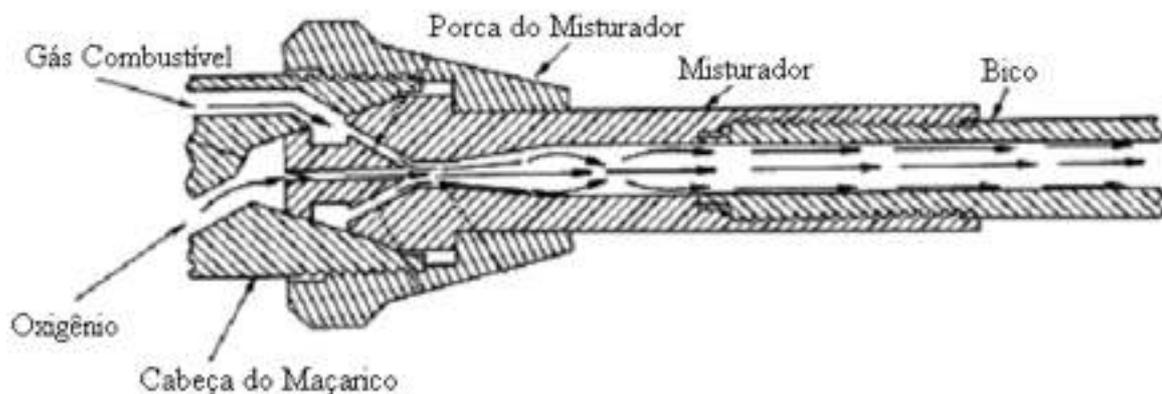
### ⇒ Misturadores de pressão positiva (ou média pressão)

- Como o próprio nome indica trabalha com pressões médias.
- O oxigênio entra por um canal central e o gás combustível por canais angulares.
- A mistura se processa no interior do misturador.



### ⇒ Misturadores injetores

- Função: aumentar a pressão efetiva dos gases.
- O oxigênio a alta pressão passa através de um pequeno canal central criando um jato de alta velocidade. Esta ação produz uma queda de pressão nas aberturas do gás combustível, fazendo com que a baixa pressão do fluxo do gás aumente com a passagem dos gases pela porção mais larga do venturi.



## GASES COMBUSTÍVEIS

↳ Requer sempre oxigênio para sustentar a combustão.

### ⇒ Características dos gases combustão



- **Razão de combustão:** indica o volume de oxigênio necessário para causar a combustão (valor teórico, pois parte da chama produzida utiliza o oxigênio do ar).
- **Calor de combustão:** quantidade total de calor gerada pela reação de combustão (soma dos calores gerados nas reações primárias e secundárias).
- **Temperatura da chama:** depende da proporção oxigênio na mistura e refere-se normalmente a temperatura da chama primária.
- **Velocidade de combustão:** velocidade com que a chama se desloca através do gás adjacente não queimado (taxa de propagação da chama).
- **Intensidade de combustão:** é o produto entre a velocidade de combustão da chama e o calor de combustão da mistura.

⇒ **Propriedades de um gás combustível para ser conveniente à soldagem**

1. Alta temperatura de chama
2. Alta taxa de propagação de chama
3. Conteúdo de calor suficiente
4. Mínimo de reação química da chama com os metais base e de adição

⇒ **Critério para avaliar a efetividade de um gás combustível para a soldagem**



Temperatura da chama + Intensidade de combustão

↳ Velocidade de combustão da chama

↳ Calor de combustão do gás

⇒ **Características dos gases mais utilizados**

| Gás                                 | Fórmula                       | T <sub>chama</sub> (°C) | Calor de Combustão |                   |                   |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                                     |                               |                         | 1 <sup>a</sup>     | 2 <sup>a</sup>    | total             |
|                                     |                               |                         | MJ/m <sup>3</sup>  | MJ/m <sup>3</sup> | MJ/m <sup>3</sup> |
| Acetileno                           | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 3087                    | 19                 | 36                | 55                |
| Propano                             | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | 2526                    | 10                 | 94                | 104               |
| Metil Acetileno<br>Propadieno (MPS) | C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> | 2927                    | 21                 | 70                | 91                |
| Propileno                           | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> | 2900                    | 16                 | 73                | 89                |
| Metano                              | CH <sub>4</sub>               | 2538                    | 0,4                | 37                | 37                |
| Hidrogênio                          | H <sub>2</sub>                | 2660                    | -                  | -                 | 12                |

## CHAMA OXIACETILÊNICA NEUTRA

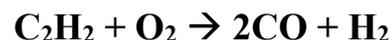


### ⇒ Cone

- Base da chama.
- Gases são aquecidos até a temperatura de inflamação (300 a 380 °C).
- Região de cor azul claro.
- Não há combustão da mistura.

### ⇒ Combustão primária

- Ocorre numa fina camada que envolve o cone.
- *Reação primária:* um volume de acetileno e um volume de oxigênio reagem para formar dois volumes de monóxido de oxigênio e um volume de hidrogênio.



- Esta chama, relativamente pequena, gera a intensidade de combustão necessária para a soldagem.

### ⇒ Zona redutora ou região redutora

- Onde os produtos da combustão primária se aglomeram.
- Região de cor verde claro.
- Esta parte da chama mantém o mais íntimo contato com o metal de solda e determina, sob o ponto de vista metalúrgico suas características.

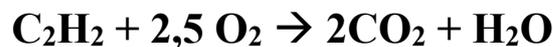
### ⇒ Combustão secundária e envelope

- Reação secundária: o monóxido de carbono e o hidrogênio, produzidos na reação primária, queimam com o oxigênio do ar da vizinhança, formando dióxido de carbono e vapor d'água.



- O calor de combustão da chama externa é maior que da chama interna, porém, a intensidade de combustão e a temperatura da chama são mais baixas (área da chama externa é maior).

### COMBUSTÃO COMPLETA DO ACETILENO



### CLASSIFICAÇÃO DAS CHAMAS OXIACETILÊNICAS EM FUNÇÃO DA RAZÃO OXIGÊNIO/ACETILENO

⇒ **Acetilênica**: combustão do acetileno puro reagindo com ar, sem interesse para a soldagem; chama amarela perto do bico, tendendo para o laranja avermelhado conforme se afasta do mesmo; produz grande volume de picumã.

⇒ **Carburizante**: combustão do acetileno com pouca quantidade de oxigênio; o penacho se contrai em direção ao bico (região brilhante) e permanece distinta no interior de um envelope azul; possui baixa temperatura; grande aplicação na soldagem de chumbo, na brasagem e na solda branda da prata.

⇒ **Redutora**: combustão do acetileno com uma quantidade maior de oxigênio que a anterior; possui um cone interno brilhante e o penacho verde clara; apresenta temperatura em torno de 3000°C.

⇒ **Neutra**: a razão entre acetileno e oxigênio se aproxima da unidade; penacho sem cor (tende a desaparecer) sendo mantido o cone brilhante e o envelope de azulado à laranja; possui temperaturas superiores à chama redutora.

⇒ **Oxidante**: quantidade de acetileno menor que de oxigênio; cone branco envolvido por uma região laranja tendendo à púrpura; a solda produz fagulhas características, além de óxidos frágeis se formarem na superfície da poça de fusão.

## ATENÇÃO “PERIGO”

### ⇒ Reversão de fluxo

- Ocorre quando a pressão do acetileno fica maior que a do oxigênio – Cilindro de oxigênio quase vazio.
- Resultado: O acetileno entra pela linha de oxigênio, mistura-se com este na mangueira, no regulador ou no cilindro e ao acender o maçarico, sem purgar as mangueiras irá acontecer uma rápida queima da mistura, explodindo tudo, desde o maçarico até o cilindro.
- Com o cilindro de oxigênio cheio também pode acontecer reversão de fluxo: válvula aberta e gás residual no regulador
- O calor gerado pela alta pressão do oxigênio entra no regulador podendo causar fogo e explosão.

“Purgar o gás das mangueiras antes de acender o maçarico, previne a ocorrência de reversão de fluxo!”

### ⇒ Engolimento de chama

- Uma explosão normalmente confinada na cabeça do maçarico e normalmente com som estampido.
- Causas:
  - Bico muito perto da poça;
  - Conexões frouxas;
  - Mangueiras vazando;
  - Pressões incorretas;
  - Qualquer coisa que cause falta de gás no bico da tocha.

### ⇒ Flashback

- Uma explosão que propaga através do maçarico, mangueiras, reguladores, etc.
- Tanto a reversão de fluxo quanto o engolimento de chama, quando não controlados podem causar flashback!
- O som do flashback é de um assovio.
- Para parar o flashback, deve-se fechar o oxigênio. Caso contrário.... CORRA!!!!

### ⇒ Válvulas controladoras de flashback

- Estas válvulas eliminam o risco de explosão no regulador e no cilindro. Elas fundem a 104°C e bloqueiam a passagem dos gases.



Acetileno (vermelhas)



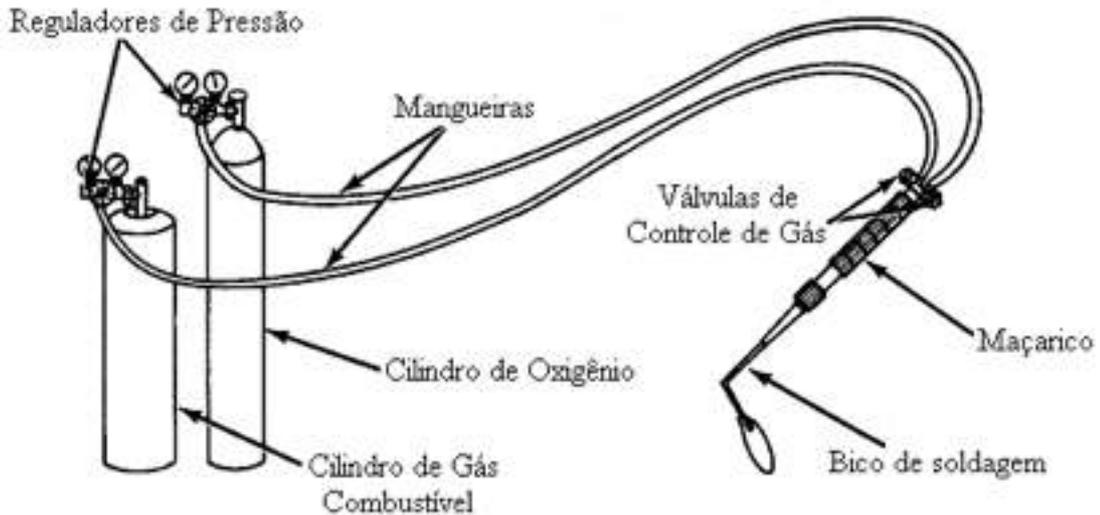
Oxigênio (verdes)

### CURIOSIDADE

Pesquisa com 620 operadores com 13 anos de experiência:

- 18% Oxigênio pode ser utilizado para respirar;
- 16% Não sabem que óleo e oxigênio são perigosos;
- 37% Não sabem o que são Flashbacks ou engolimento de chama;
- 15% Não entendem o porque de purgar as mangueiras;
- 53% Não sabem o que é reversão de fluxo;
- 89% Não sabem o procedimento correto para acender e interromper a chama;
- 53% Não sabem a pressão exata dos gases;
- 75% Não sabem o que fazer quando ocorre FLASHBACK.

## DICAS DE COMO ACENDER E DESLIGAR O MAÇARICO



### ⇒ Como acender o maçarico:

- Verificar se as válvulas dos reguladores de pressão estão fechadas;
- Purgar o gás residual das mangueiras abrindo a válvula de controle de gás;
- Fechar a válvula de controle de gás;
- Abrir a válvula dos reguladores de pressão;
- Abrir um “pouquinho” a válvula do gás-oxigênio;
- Abrir um “pouco” a válvula do gás-acetileno;
- Acender o maçarico;
- Regular a chama.

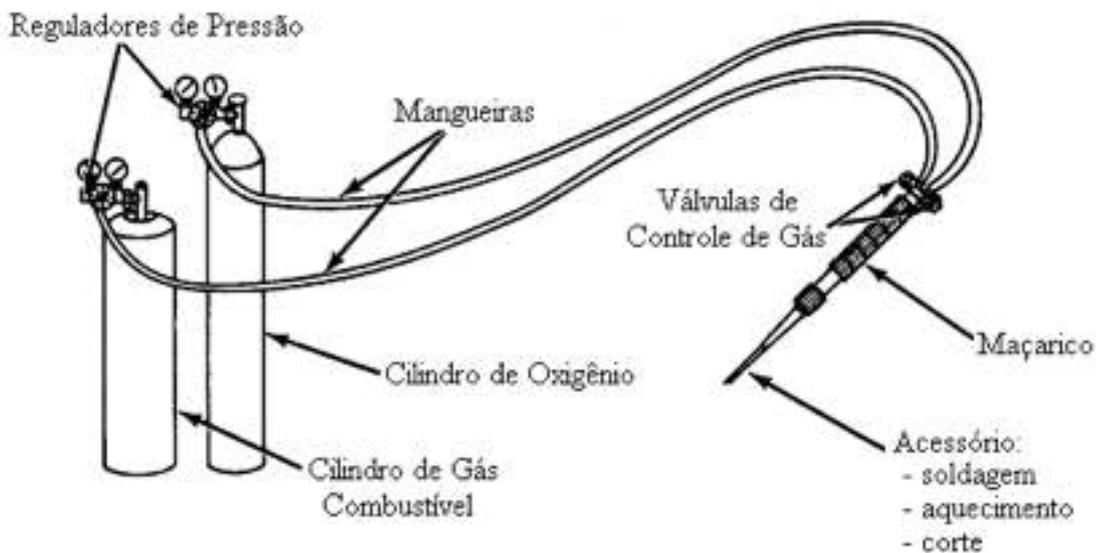
### ⇒ Como desligar o maçarico:

- Fechar a válvula do gás-acetileno;
- Fechar a válvula do gás-oxigênio;
- Fechar a válvula dos reguladores de pressão;
- Purgar o gás residual das mangueiras abrindo a válvula de controle de gás;
- Fechar a válvula de controle de gás.

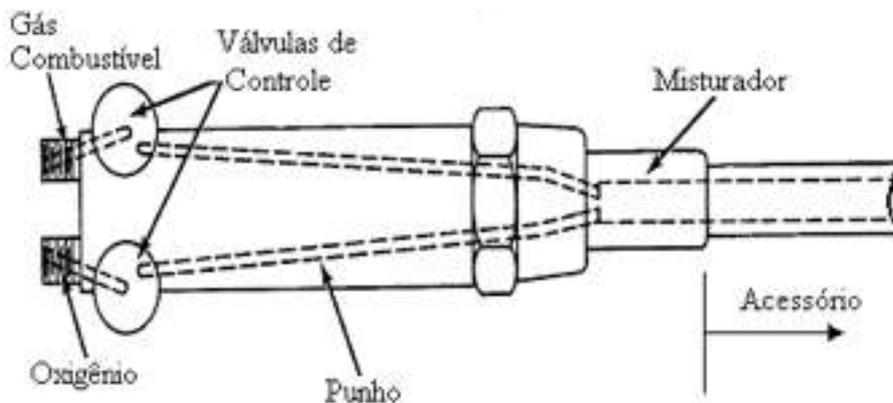
## PROCESSO DE CORTE COM CHAMA OXÍ-GÁS - OXICORTE

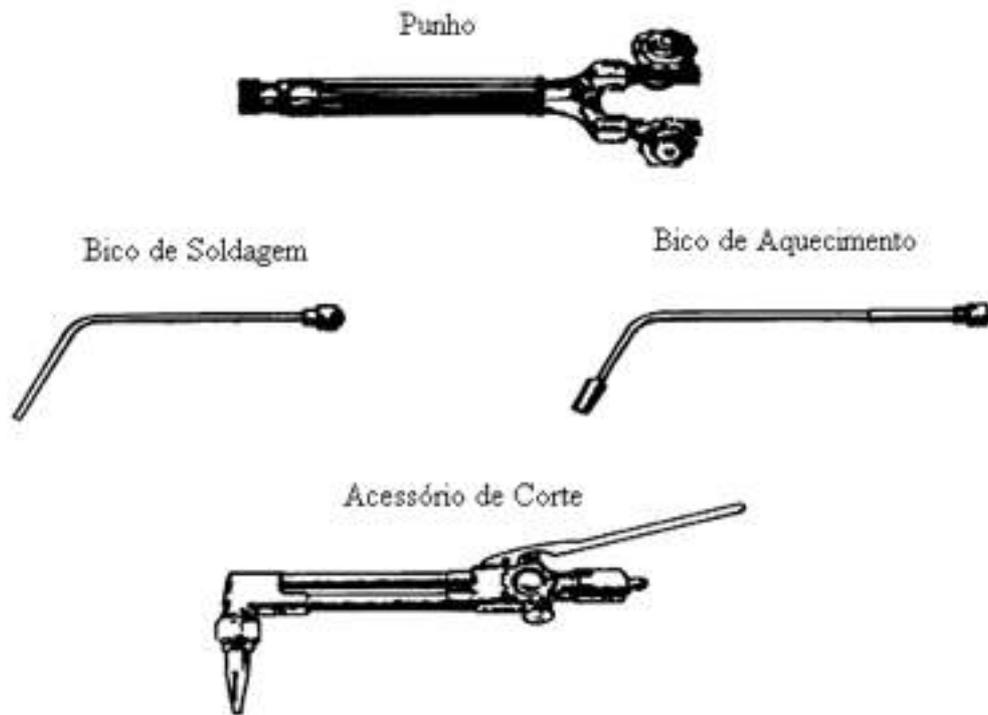
“Processo de corte de metais através da ação localizada e contínua de um jato de oxigênio, de elevada pureza, agindo sobre um ponto do metal previamente aquecido à sua temperatura de queima (ou de ignição) por uma chama oxicomustível”.

### EQUIPAMENTO PARA O PROCESSO OXICORTE

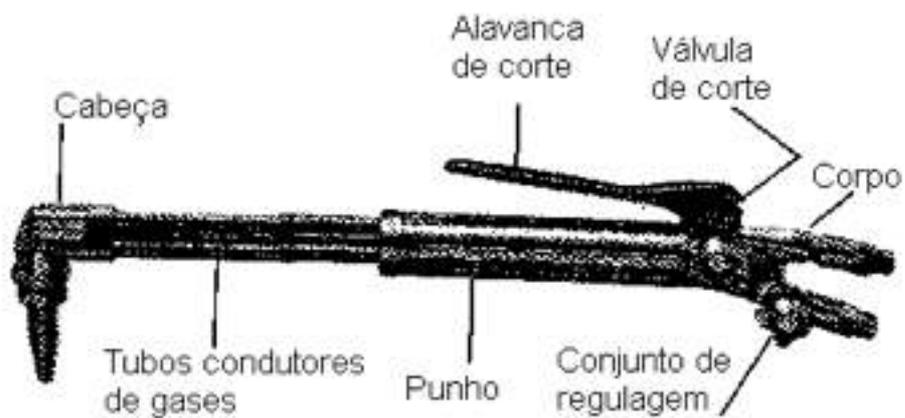


⇒ Maçarico





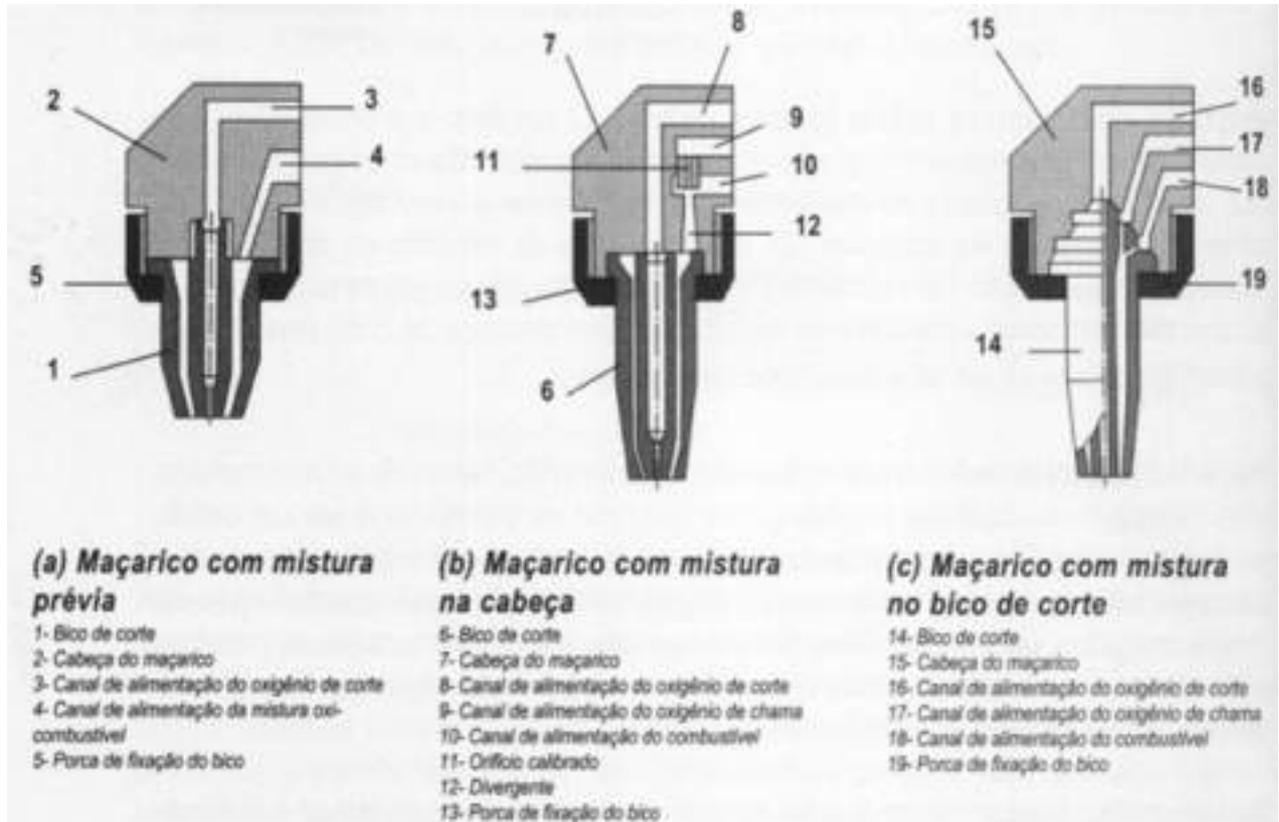
⇒ **Maçarico de corte**



⇒ **Tipos de maçarico de corte:**

- Maçarico com mistura prévia;
- Maçarico com mistura na cabeça;

- Maçarico com mistura no bico de corte.



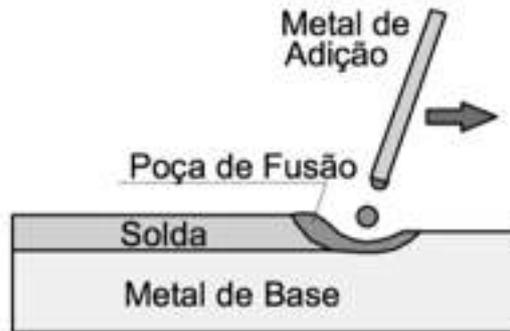
## CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA O OXICORTE

- A temperatura de queima do metal deve ser inferior à temperatura de fusão do mesmo. Caso contrário o metal se funde antes do corte ser realizado;
- A temperatura de fusão dos óxidos formados deve ser menor que a temperatura de fusão do metal e menor que a temperatura alcançada no corte. Esta condição é necessária para que os óxidos formados na superfície não impeçam a combustão das camadas inferiores e a remoção do metal. Caso contrário, o metal funde-se antes do corte ser realizado;
- A reação de combustão deve ser suficientemente exotérmica para manter a temperatura de início de oxidação, tornando o corte auto sustentável;
- Os óxidos formados devem ter alta fluidez quando fundidos, para que possam ser expulsos com facilidade pela pressão do jato de oxigênio de corte e propagar a reação. Se não for obtida esta condição haverá dificuldade para a oxidação do metal pelo oxigênio, e conseqüentemente, uma baixa velocidade de corte;
- O metal deve apresentar baixa condutividade térmica. Quando há grande dissipação de calor por condução o processo ou não se inicia ou é interrompido com freqüência.

## 27. TERMINOLOGIA E SIMBOLOGIA DE SOLDAGEM

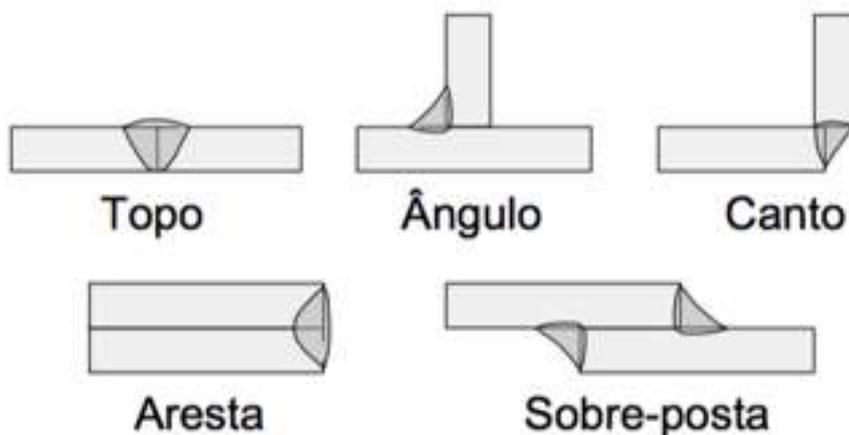
**Soldagem:** operação que visa a união

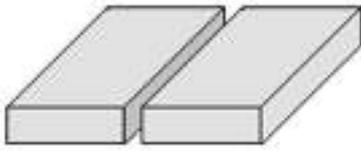
**Solda:** resultado/produto da união



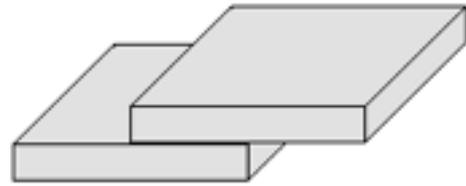
⇒ **Classificação das juntas quanto à posição relativa entre os elementos a soldar**

- Juntas de topo
- Juntas em ângulo ou filete
- Juntas em arestas ou de bordamento
- Juntas sobrepostas ou de cobertura

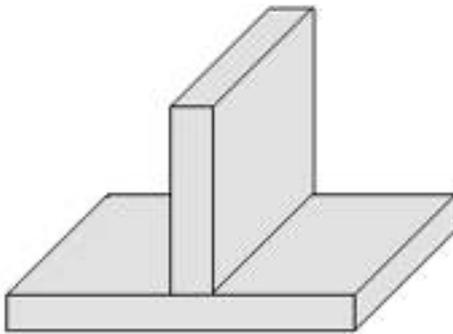




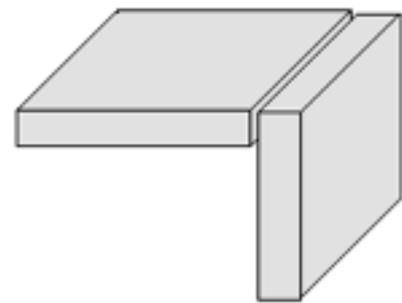
(a) de topo



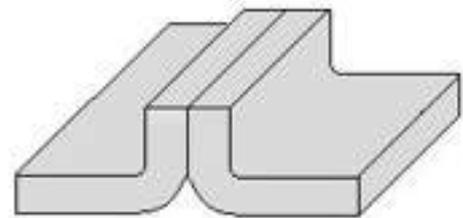
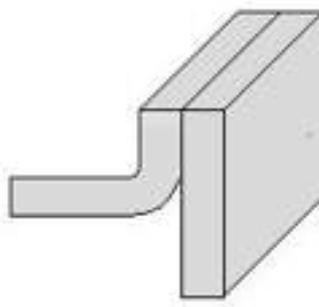
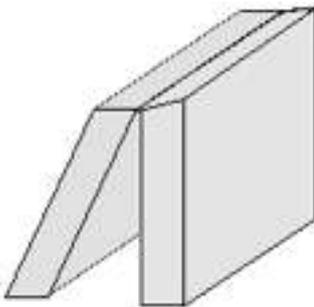
(b) sobreposta



(c.1) em ângulo T

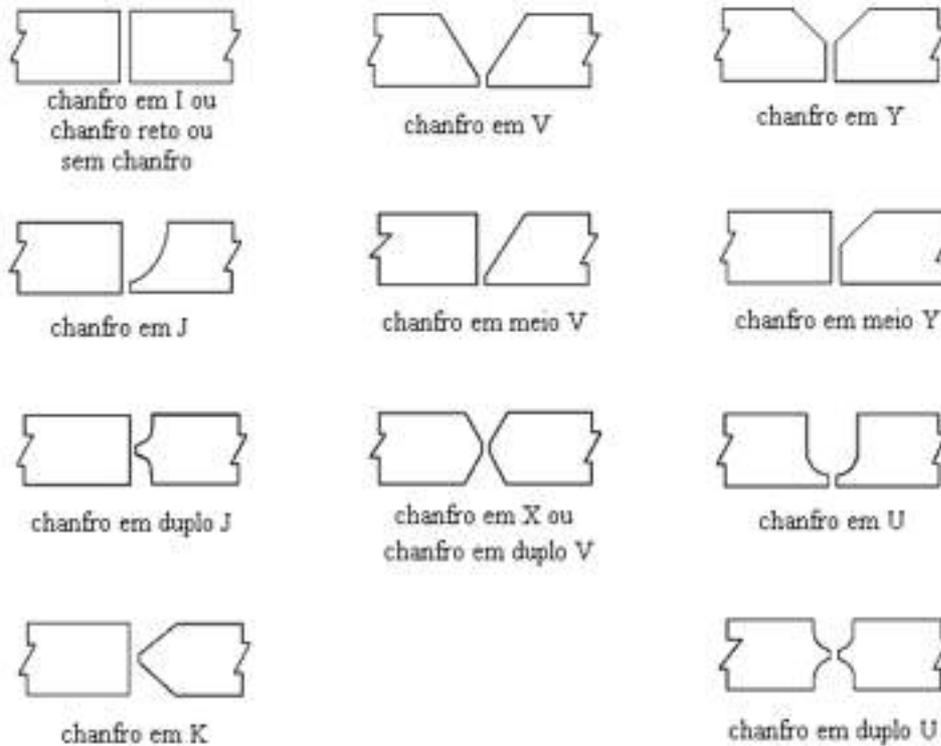


(c.2) em ângulo L



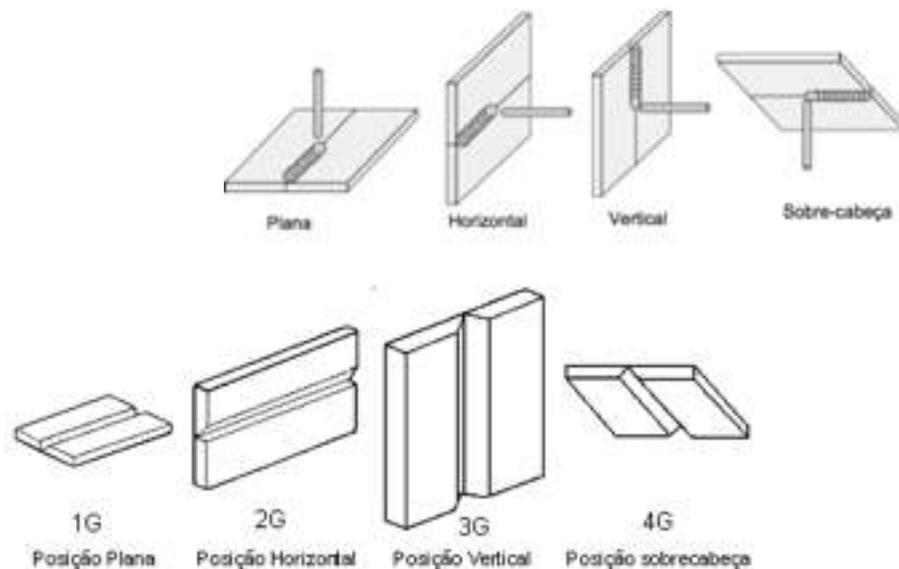
(d) de aresta ou de bordamento

⇒ **Classificação das juntas quanto à forma como é preparada**

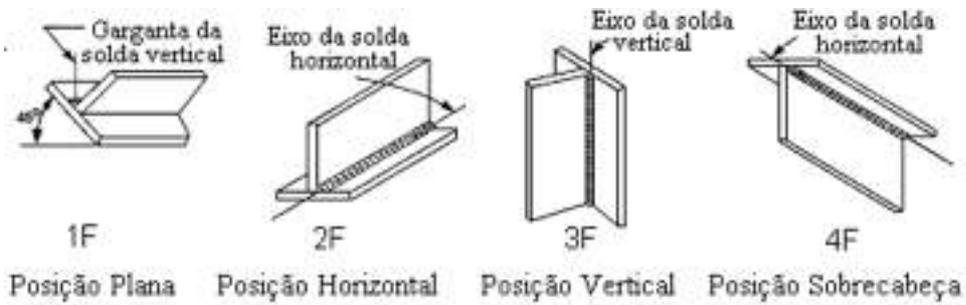


⇒ **Classificação das juntas quanto à posição dos elementos em relação à soldagem**

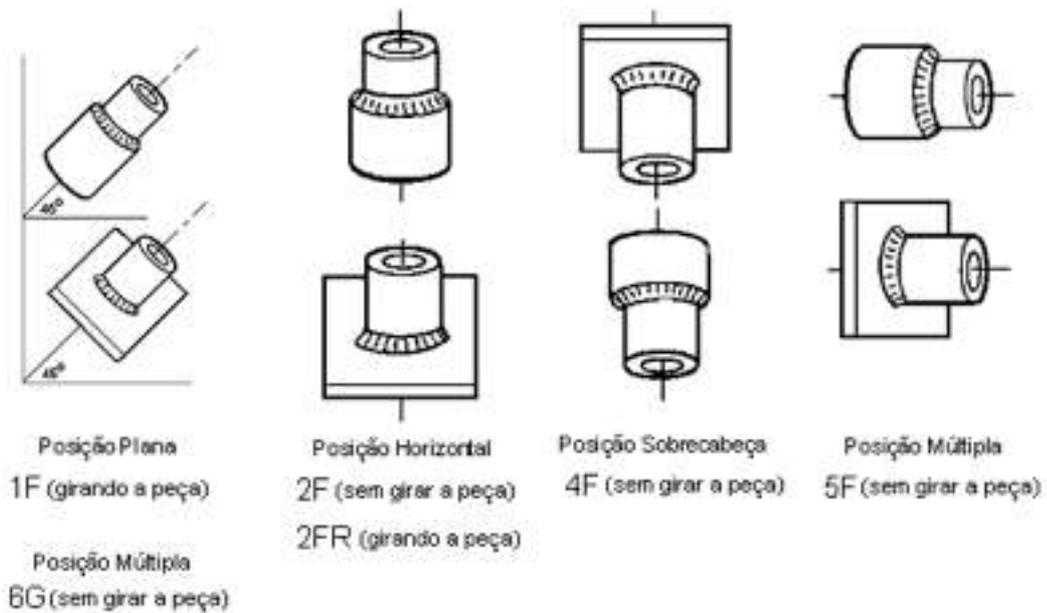
- Plana
- Horizontal
- Vertical
- Sobrecabeça
- Múltiplas



Posição de soldagem em juntas de topo em chapas.

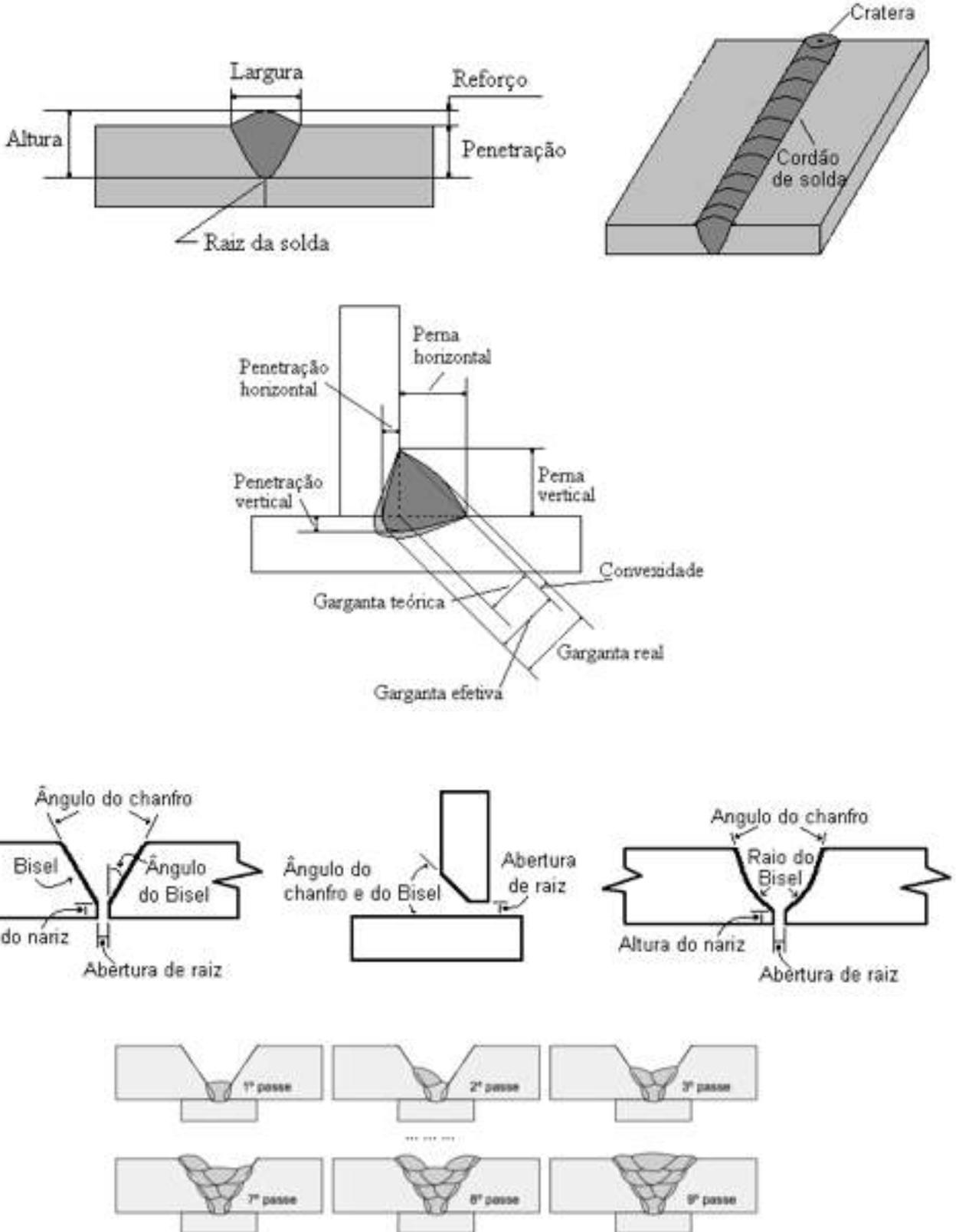


Posição de soldagem em juntas de filete em chapas.



Posição de soldagem em tubos.

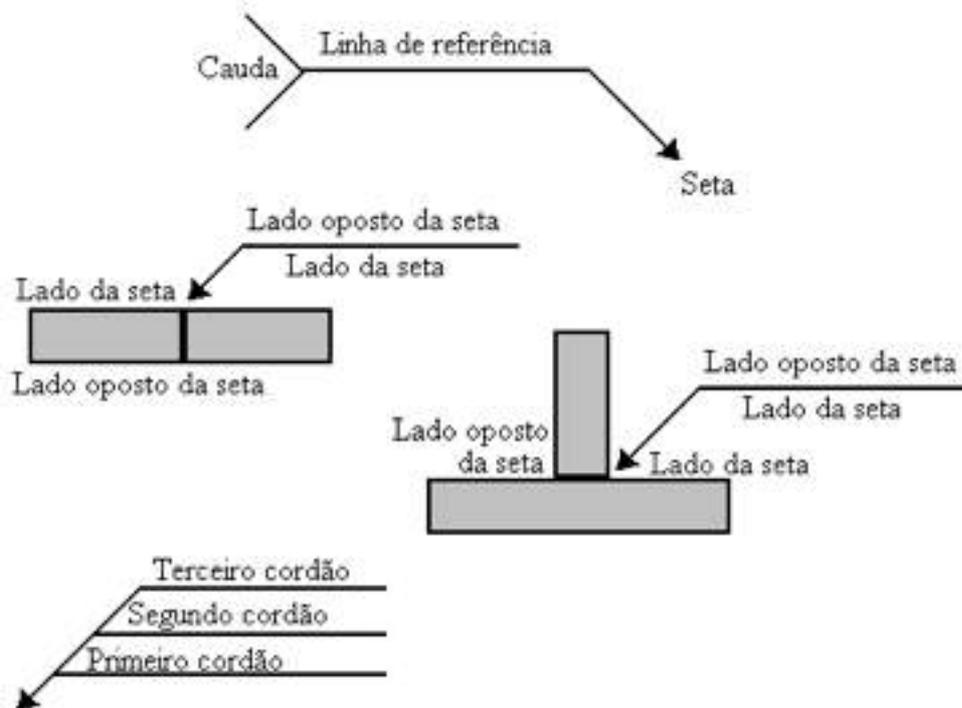
⇒ Terminologias



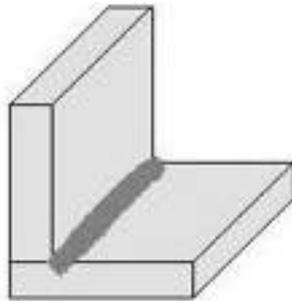
## ⇒ Símbolos de solda

- Linha de referência
- Seta
- Cauda
- Símbolo básico de solda
- Símbolos suplementares
- Símbolo de acabamento
- Especificações, processos e outras referências.
- Dimensões e outros dados da solda

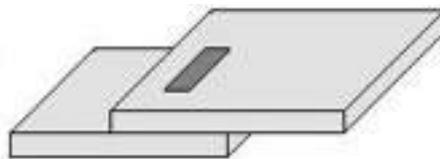
## ↪ Linha de referência, seta e cauda.



## ↳ Símbolo básico de solda



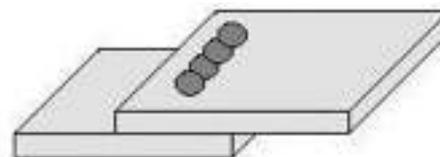
**Tampão ou fenda**



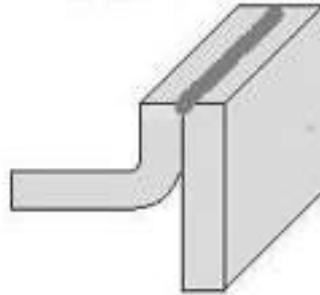
**Ponto**



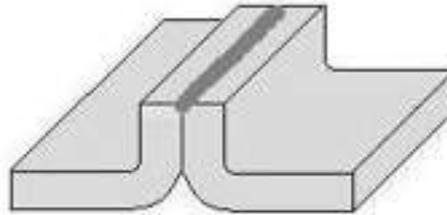
**Costura**

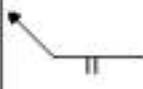
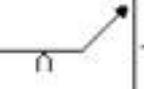
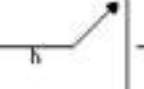
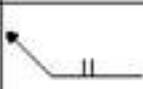
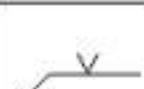
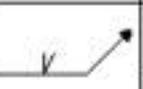
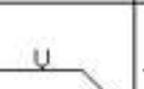
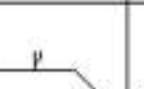
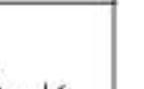


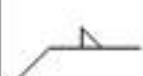
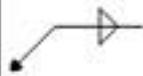
Aresta com uma face convexa



Aresta com faces convexas

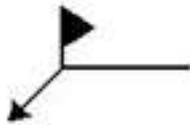


| Solda em chanfro |   |   |   |  |   |   |   |
|------------------|---|---|---|--|---|---|---|
| Localização      | Reto ou sem chanfro   | V ou X  | Meio V ou K   | U ou duplo U   | J ou duplo J  | Com fases convexas  | Com uma fase convexa  |
| Lado da seta     |  |  |  |  |  |  |  |
| Lado oposto      |  |  |  |  |  |  |  |
| Ambos os lados   |  |  |  |  |  |  |  |

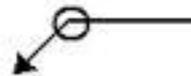
| Solda em chanfro |   |   |  |   |
|------------------|---|---|--|---|
| Localização      | Em ângulo   | Tampão ou fenda   | Por ponto ou projeção  | Costura   |
| Lado da seta     |  |  |  |  |
| Lado oposto      |  |  |  |  |
| Ambos os lados   |  | não usado   | não usado  | não usado   |
| Sem indicação    |   |   |  |  |

## ↳ Símbolos suplementares de solda

Soldagem de campo



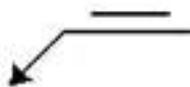
Soldagem em todo o contorno



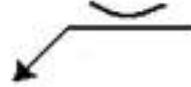
Penetração total



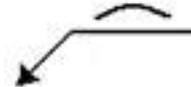
Contorno plano



Contorno côncavo



Contorno convexo



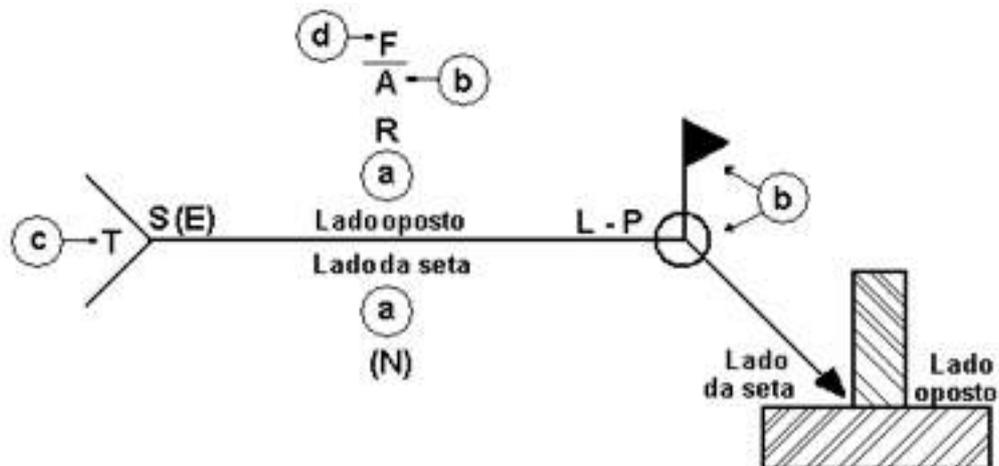
## ↳ Símbolos de acabamento de solda

- C – Corte/rebarbamento (*cutting*)
- G – Esmerilhamento (*grinding*)
- M – Torneamento, fresamento, ect (*machining*)
- R – Laminação (*rolling*)
- H – Martelamento (*hammering*)

## ↳ Especificações, processos e outras referências.

| <i>Designação AWS</i> | <i>Processos de Soldagem</i>                | <i>Designação Brasileira</i> |
|-----------------------|---|------------------------------|
| SMAW                  | Soldagem com eletrodo revestido             | ER                           |
| SAW                   | Soldagem a arco submerso                    | AS                           |
| GMAW                  | Soldagem com arame sólido e proteção gasosa | MIG / MAG                    |
| FCAW                  | Soldagem com arame tubular                  | ET                           |
| GTAW                  | Soldagem com eletrodo tungstênio            | TIG                          |
| PAW                   | Soldagem por plasma                         | PL                           |
| EBW                   | Soldagem por feixe de elétrons              | FE                           |
| LBW                   | Soldagem a laser                            | La                           |

⇒ Esquema geral da simbologia de soldagem



- (a) Símbolos básicos
- (b) Símbolos suplementares
- (c) Procedimentos, processos ou referências (T)
- (d) Detalhe, acabamento final (F)

S = profundidade do chanfro

E = penetração da solda ou garganta efetiva

L = comprimento da solda ou de cada trecho de solda descontínua

P = distância entre cordões

A = ângulo do chanfro

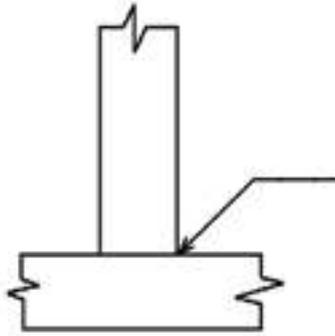
N = número de cordões

R = abertura de raiz, altura do enchimento para solda de tampão ou fenda, ou folga da junta

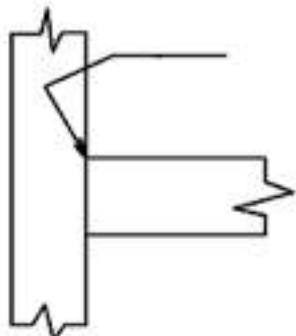
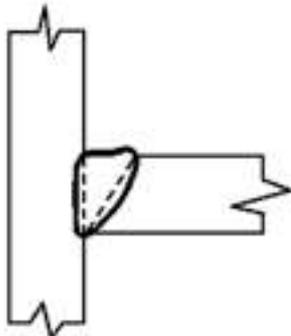
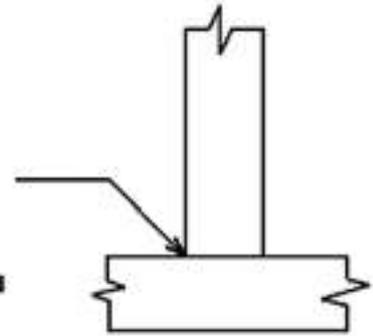
⇒ Exemplos e Exercícios

Solda desejada

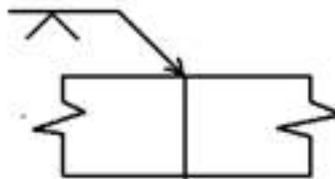
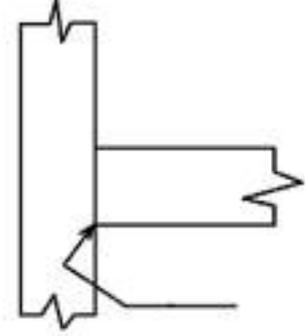
Símbolos



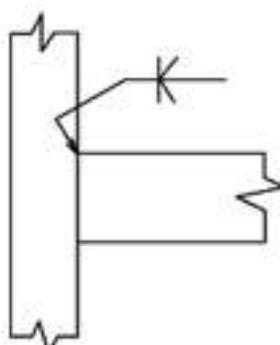
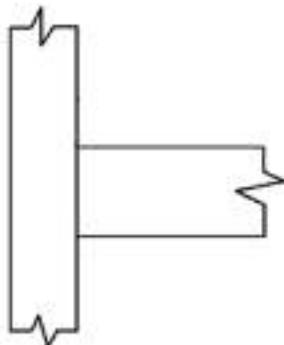
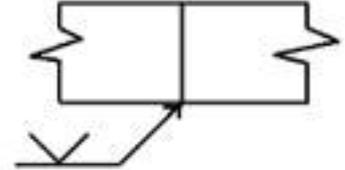
ou



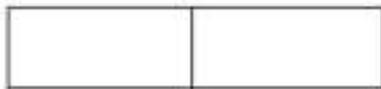
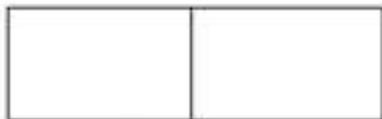
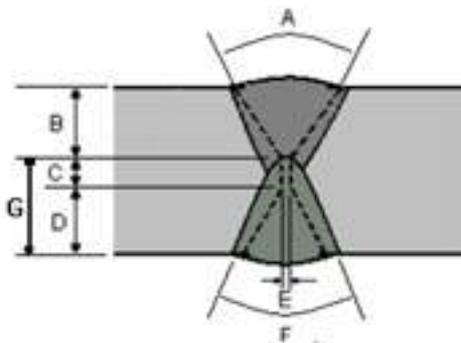
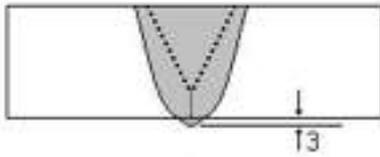
ou



ou



Solda desejada



Símbolo -

