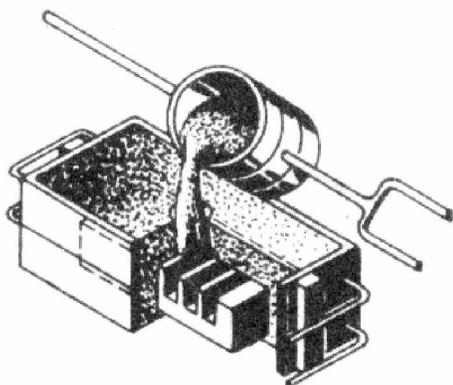


## Processos Metalúrgicos

### Fundição

É o processo de fabricação de peças metálicas que consiste essencialmente em encher com metal líquido a cavidade de um molde com formato e medidas correspondentes aos da peça a ser fabricada.



A fundição é um processo de fabricação inicial, porque permite a obtenção de peças com formas praticamente definitivas, com mínimas limitações de tamanho, formato e complexidade, e também é o processo pelo qual se fabricam os **lingotes**. É a partir do lingote que se realizam os processos de conformação mecânica para a obtenção de chapas, placas, perfis etc.

Sempre que se fala em fundição, as pessoas logo pensam em ferro. Mas esse processo não se restringe só ao ferro, não. Ele pode ser empregado com os mais variados tipos de ligas metálicas, desde que elas apresentem as propriedades adequadas a esse processo, como por exemplo, **temperatura de fusão** e **fluidez**.

**Temperatura de fusão** é a temperatura em que o metal passa do estado sólido para o estado líquido.

**Fluidez** é a capacidade de uma substância de escoar com maior ou menor facilidade. Por exemplo, a água tem mais fluidez que o óleo porque escorre com mais facilidade.

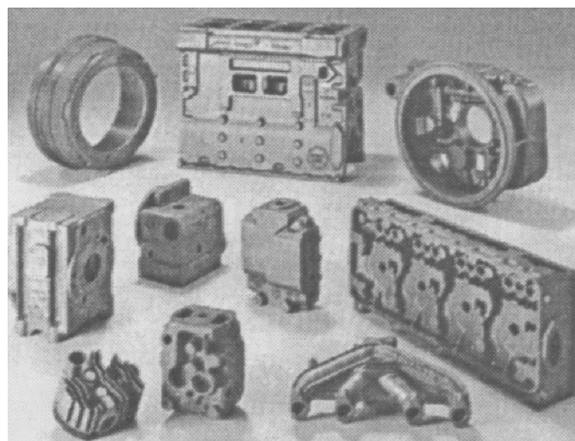
A fundição começou a ser usada pelo homem mais ou menos 3000 a.C. Fundiu-se primeiro o cobre, depois o bronze, e, mais recentemente, o ferro, por causa da dificuldade em alcançar as temperaturas necessárias para a realização do processo. A arte cerâmica contribuiu bastante para isso, pois gerou as técnicas básicas para a execução dos moldes e para o uso controlado do calor já que forneceu os materiais refratários para a construção de fornos e cadinhos.

Sem dúvida, as descobertas da Revolução Industrial, como os fornos Cubilô os fornos elétricos, e a mecanização do processo, muito contribuíram para o desenvolvimento da fundição do ferro e, conseqüentemente, do aço. A maioria dos equipamentos de fundição foi concebida basicamente nesse período, quando surgiram também os vários métodos de fundição centrífuga. Ao século XX coube a tarefa de aperfeiçoar tudo isso.

Para entender melhor a importância disso, basta lembrar que a produção de máquinas em geral e de máquinas-ferramenta, máquinas operatrizes e agrícolas é impensável sem a fundição.

Estudando este módulo sobre processos de fabricação mecânica, você vai perceber que esses utilizam sempre produtos semi-acabados, ou seja, chapas, barras, perfis, tubos, fios e arames, como matéria-prima. Quer dizer, existem várias etapas de fabricação que devem ser realizadas **antes** que o material metálico se transforme em uma peça.

Por outro lado, a fundição parte diretamente do metal líquido e, no mínimo, economiza etapas dentro do processo de fabricação. Vamos, então, ver mais algumas vantagens desse processo.



a) As peças fundidas podem apresentar formas externas e internas desde as mais simples até as bem complicadas, com formatos impossíveis de serem obtidos por outros processos.

b) As peças fundidas podem apresentar dimensões limitadas somente pelas restrições das instalações onde são produzidas. Isso quer dizer que é possível produzir peças de poucos gramas de peso e com espessura de parede de apenas alguns milímetros ou pesando muitas toneladas.

c) A fundição permite um alto grau de automatização e, com isso, a produção rápida e em série de grandes quantidades de peças.

d) As peças fundidas podem ser produzidas dentro de padrões variados de acabamento (mais liso ou mais áspero) e **tolerância dimensional** (entre  $\pm 0,2$  mm e  $\pm 6$  mm) em função do processo de fundição usado. Por causa disso, há uma grande economia em operações de usinagem.

**Tolerância dimensional** é a faixa dentro da qual uma medida qualquer pode variar. Por exemplo, o desenho especifica uma medida de 10 mm, com uma tolerância dimensional de  $\pm 1$ . Isso quer dizer que essa medida pode variar entre 9 e 11 mm.

e) A peça fundida possibilita grande economia de peso, porque permite a obtenção de paredes com espessuras quase ilimitadas.

Essas vantagens demonstram a grande diversidade de peças que podem ser produzidas por esse processo e que os outros não conseguem alcançar. Para você ter uma idéia, um automóvel não poderia sair do lugar se não fosse o motor. Nele, a maioria das peças é feita por meio de processos de fundição.

### Fundição passo-a-passo

A matéria-prima metálica para a produção de peças fundidas é constituída pelas ligas metálicas ferrosas (ligas de ferro e carbono) e não-ferrosas (ligas de cobre, alumínio, zinco e magnésio).

O processo de fabricação dessas peças por meio de fundição pode ser resumido nas seguintes operações:

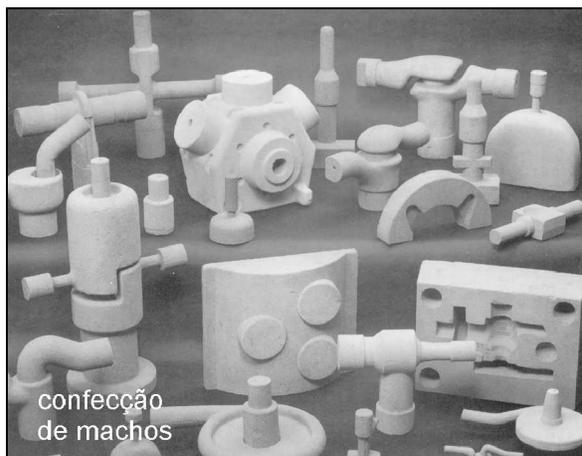
1. **Confecção do modelo** – Essa etapa consiste em construir um modelo com o formato aproximado da peça a ser fundida. Esse modelo vai servir para a construção do molde e suas dimensões devem prever a contração do metal quando ele se solidificar bem como um eventual sobremetal para posterior usinagem da peça. Ele é feito de madeira, alumínio, aço, resina plástica e até isopor.



2. **Confeção do molde** – O molde é o dispositivo no qual o metal fundido é colocado para que se obtenha a peça desejada. Ele é feito de material refratário composto de areia e aglomerante. Esse material é moldado sobre o modelo que, após retirado, deixa uma cavidade com o formato da peça a ser fundida.



3. **Confeção dos machos** – Macho é um dispositivo, feito também de areia, que tem a finalidade de formar os vazios, furos e reentrâncias da peça. Eles são colocados nos moldes antes que eles sejam fechados para receber o metal líquido.



4. **Fusão** – Etapa em que acontece a fusão do metal.

5. **Vazamento** – O vazamento é o enchimento do molde com metal líquido.



6. **Desmoldagem** - Após determinado período de tempo em que a peça se solidifica dentro do molde, e que depende do tipo de peça, do tipo de molde e do metal (ou liga metálica), ela é retirada do molde (desmoldagem) manualmente ou por processos mecânicos.

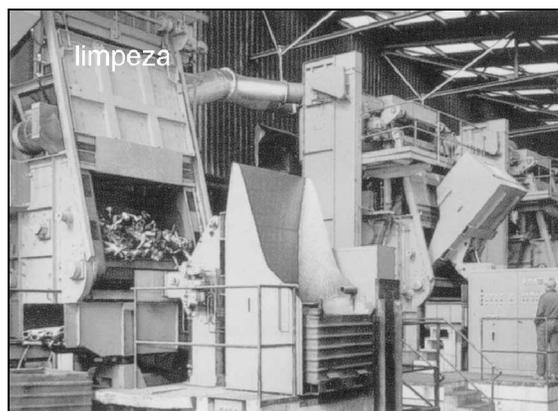
7. **Rebarbação** – A rebarbação é a retirada dos canais de alimentação, massalotes e rebarbas que se formam durante a fundição. Ela é realizada quando a peça atinge temperaturas próximas às do ambiente.



**Canais de alimentação** são as vias, ou condutos, por onde o metal líquido passe para chegar ao molde.

**Massalote** é uma espécie de reserva de metal que preenche os espaços que vão se formando à medida que a peça vai solidificando e se contraindo.

8. **Limpeza** - A limpeza é necessária porque a peça apresenta uma série de incrustações da areia usada na confecção do molde. Geralmente ela é feita por meio de jatos abrasivos.



Essa seqüência de etapas é a que normalmente é seguida no processo de fundição por gravidade em areia, que é o mais utilizado. Um exemplo bem comum de produto fabricado por esse processo é o bloco dos motores de automóveis e caminhões.

O processo de fundição por gravidade com moldagem em areia apresenta variações. As principais são:

- fundição com moldagem em areia aglomerada com argila;
- fundição com moldagem em areia aglomerada com resinas.

A fundição por gravidade usa também moldes cerâmicos. Esse processo recebe o nome de fundição de precisão.

Existe ainda um outro processo de fundição por gravidade que usa moldes metálicos. Quando são usados moldes metálicos, não são necessárias as etapas de confecção do modelo e dos moldes, por nós descritas. Outro processo que usa molde metálico é o processo de **fundição sob pressão**. Esses outros processos, você vai estudar com mais detalhes nas próximas aulas.

Pelas informações desta parte da lição, você já percebeu a importância da fundição para a mecânica. É uma etapa fundamental de todo o processo de produção e dele depende muito a qualidade que o produto terá ao chegar ao consumidor.

### Características e defeitos produtos fundidos

Quando um novo produto é criado, ou quando se quer aperfeiçoar algo que já existe, o departamento de engenharia geralmente tem alguns critérios que ajudam a escolher o tipo de processo de fabricação para as peças projetadas.

No caso da fundição, vários fatores podem ser considerados:

- formato e complexidade da peça
- tamanho da peça
- quantidade de peças a serem produzidas
- matéria-prima metálica que será usada

Além disso, as peças fundidas apresentam características que estão estreitamente ligadas ao processo de fabricação como por exemplo:

- acréscimo de sobremetal, ou seja, a camada extra de metal que será desbastada por processo de usinagem
- furos pequenos e detalhes complexos não são feitos na peça porque dificultam o processo de fundição, embora apareçam no desenho. Esses detalhes são depois executados também por meio de usinagem.
- arredondamento de cantos e engrossamento das paredes da peça para evitar defeitos como trincas e melhorar o preenchimento com o metal líquido.

Como em todo o processo, às vezes, alguma coisa "sai errado" e aparecem os defeitos. Alguns defeitos comuns das peças fundidas são:

- inclusão da areia do molde nas paredes internas ou externas da peça. Isso causa problemas de usinagem: os grãos de areia são abrasivos e, por isso, estragam a ferramenta. Além disso, causam defeitos na superfície da peça usinada.
- defeitos de composição da liga metálica que causam o aparecimento de partículas duras indesejáveis no material. Isso também causa desgaste da ferramenta de usinagem.
- rechupe, ou seja, falta de material devido ao processo de solidificação, causado por projeto de massalote malfeito.
- porosidade, ou seja, a existência de "buraquinhos" dentro de peça. Eles se originam quando os gases que existem dentro do metal líquido não são eliminados durante o processo de vazamento e solidificação. Isso causa fragilidade e defeitos superficiais na peça usinada.

### O molde: uma peça fundamental

Qualidade, hoje em dia, é muito mais que uma palavra. É uma atitude indispensável em relação aos processos de produção, se quisermos vencer a competição com os concorrentes; o que não é nada fácil.

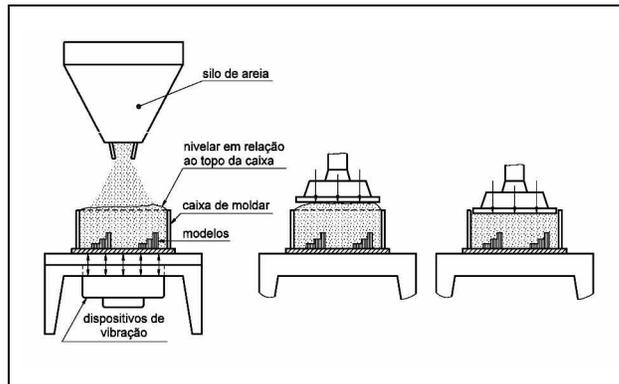
A qualidade da peça fundida está diretamente ligada à qualidade do molde. Peças fundidas de qualidade não podem ser produzidas sem moldes. Por isso, os autores usam tanto o material quanto o método pelo qual o molde é fabricado como critério para classificar os processos de fundição. Portanto, é possível classificar os processos de fundição em dois grupos:

1. Fundição em moldes de areia
2. Fundição em moldes metálicos

Nesta aula, não nos preocuparemos com a fundição em moldes metálicos. Vamos estudar apenas a moldagem em areia.

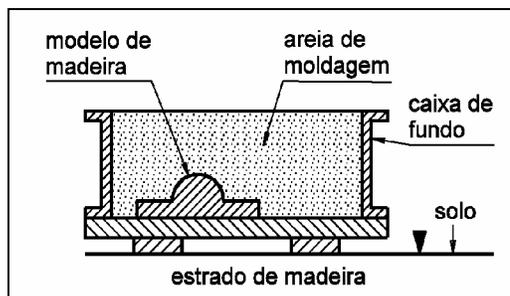
Como já dissemos, esse processo de fundição, particularmente a **moldagem em areia verde** é o mais simples e mais usado nas empresas do ramo.

A preparação do molde, neste caso, consiste em compactar mecânica ou manualmente uma mistura refratária plástica chamada **areia de fundição**, sobre um modelo montado em uma caixa de moldar.

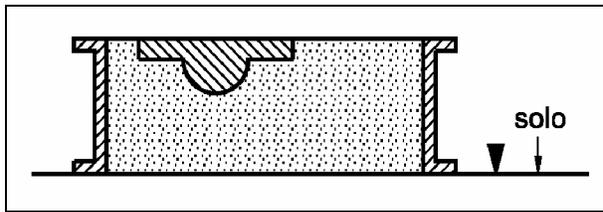


Esse processo segue as seguintes etapas:

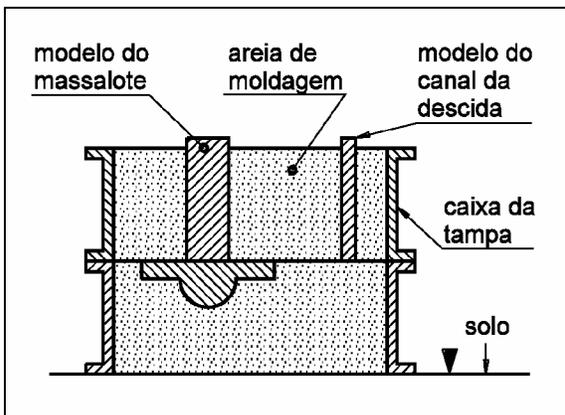
1. A caixa de moldar é colocada sobre uma placa de madeira ou no chão. O modelo, coberto com talco ou grafite para evitar aderência da areia, é então colocado no fundo da caixa. A areia é compactada sobre o modelo manualmente ou com o auxílio de marteletes pneumáticos.



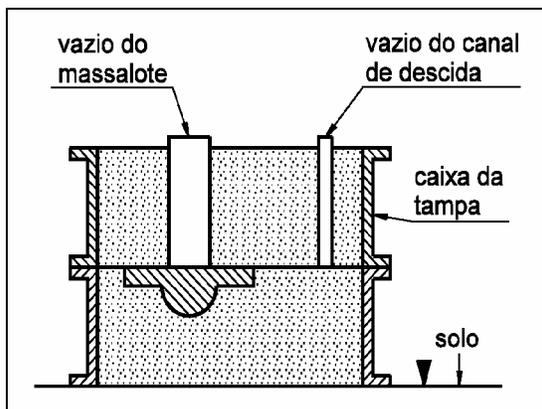
2. Essa caixa, chamada de caixa-fundo, é virada de modo que o modelo fique para cima.



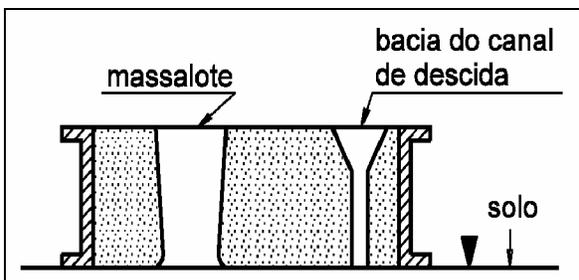
3. Outra caixa de moldar, chamada de caixa-tampa, é então posta sobre a primeira caixa. Em seu interior são colocados o massalote e o canal de descida. Enche-se a caixa com areia que é socada até que a caixa fique completamente cheia.



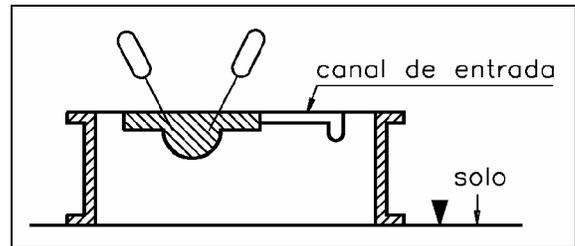
4. O canal de descida e o massalote são retirados e as caixas são separadas.



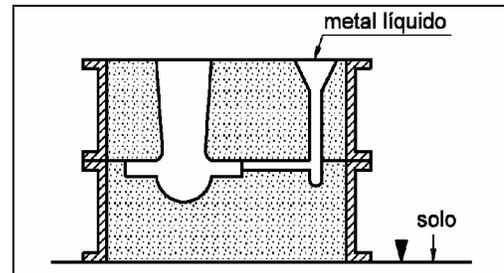
5. Abre-se o copo de vazamento na caixa-tampa.



6. Abre-se o canal de distribuição e anal de entrada na caixa-fundo e retira-se o modelo.



7. Coloca-se a caixa de cima sobre a caixa de baixo. Para prender uma na outra, usam-se presilhas ou grampos.



Depois disso, o metal é vazado e após a solidificação e o resfriamento, a peça é desmoldada, com o canal e o massalote retirados. Obtém-se, assim, a peça fundida, que depois é limpa e rebarbada.

A seqüência da preparação do molde que descrevemos é manual. Nos casos de produção de grandes quantidades, usa-se o processo mecanizado com a ajuda de máquinas de moldar conhecidas como automáticas ou semi-automáticas que permitem a produção maciça de moldes em reduzido intervalo de tempo.

Para que um produto fundido tenha a qualidade que se espera dele, os moldes devem apresentar as seguintes características essenciais:

- resistência suficiente para suportar a **pressão** do metal líquido.
- resistência à ação erosiva do metal que esco rapidamente durante o vazamento.
- mínima geração de gás durante o processo de vazamento e solidificação, a fim de impedir a contaminação do metal e o rompimento do molde.
- permeabilidade suficiente para que os gases gerados possam sair **durante o vazamento** do metal.
- refratariedade que permita suportar as altas temperaturas de fusão dos metais e que facilite a desmoldagem da peça.
- possibilidade de contração da peça, que acontece durante a solidificação.

### Areia de fundição é sempre verde?!

Bem, para início de conversa, a fundição em moldes de areia verde não tem nada a ver com a cor verde. O processo tem esse nome somente porque a mistura com a qual o molde é feito mantém sua umidade original, quer dizer, não passa por um processo de secagem.

A matéria-prima para esse tipo de moldagem é composta basicamente por um agregado granular refratário chamado de areia-base que pode ser sílica, cromita ou zirconita, mais argila (como aglomerante) e água.

Tanto metais ferrosos quanto não-ferrosos podem ser fundidos nesse tipo de molde. Os moldes são preparados, o metal é vazado por gravidade, e as peças são desmoldadas durante rápidos ciclos de produção. Após a utilização, praticamente toda a areia (98%) pode ser reutilizada. Esse processo de moldagem é facilmente mecanizável, sendo realizado por meio de máquinas automáticas.

Como qualquer outro processo, apresenta vantagens e desvantagens que estão listadas a seguir:

Vantagens	Desvantagens
1. A moldagem por areia verde é o mais barato dentre todos os métodos de produção de moldes.	1. O controle da areia é mais crítico do que nos outros processos que também usam areia.
2. Há menos distorção de formato do que nos métodos que usam areia seca, porque não há necessidade de aquecimento.	2. Maior erosão quando as peças fundidas são de maior tamanho.
3. As caixas de moldagem estão prontas para a reutilização em um mínimo espaço de tempo.	3. O acabamento da superfície piora nas peças de maior peso.
4. Boa estabilidade dimensional.	4. A estabilidade dimensional é menor nas peças de maior tamanho.
5. Menor possibilidade de surgimento de trincas.	

(fonte: ASM Committee on Sand Molding)

Foram as desvantagens que obrigaram os fundidores a procurar outros tipos de materiais aglomerantes que pudessem ser misturados com a areia. Isso levou à utilização das resinas sintéticas que permitiram o aparecimento de processos de modelagem como "shell molding", caixa quente e por cura a frio.

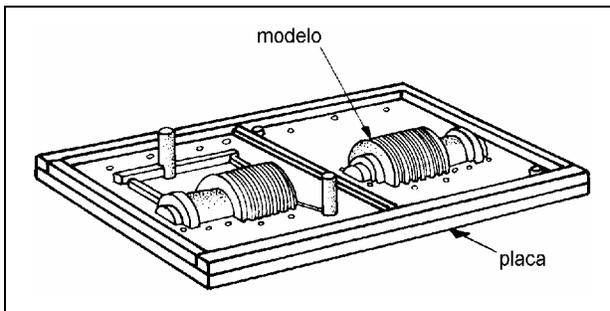
O molde fica mais resistente

O uso das resinas foi um grande aperfeiçoamento na utilização de areia para a produção de moldes de fundição. A areia não precisa mais ser compactada porque o aglomerante, que é como uma espécie de cola, tem a função de manter juntos os grãos de areia. E isso é feito de dois modos: a quente ou a frio.

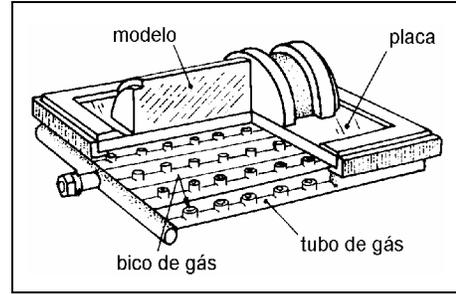
Um dos processos, que usa calor para provocar a reação química entre o aglomerante e os grãos da areia, é aquele chamado de "shell molding", que em português quer dizer moldagem de casca.

Ele é realizado da seguinte maneira:

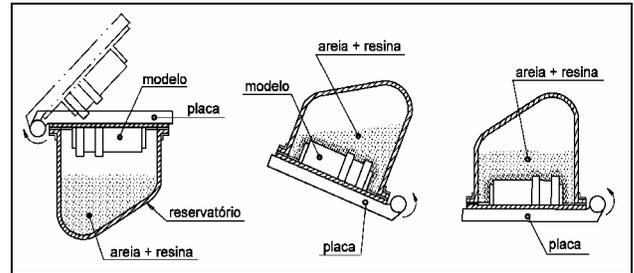
- Os modelos, feitos de metal para resistir ao calor e ao desgaste, são fixados em placas, juntamente com os sistemas de canais e os alimentadores.



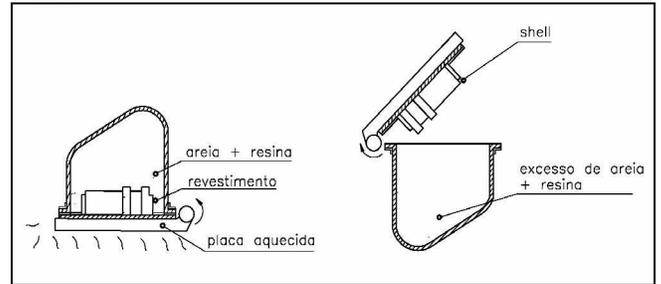
- A placa é presa na máquina e aquecida por meio de bicos de gás até atingir a temperatura de trabalho (entre 200 e 250°C).



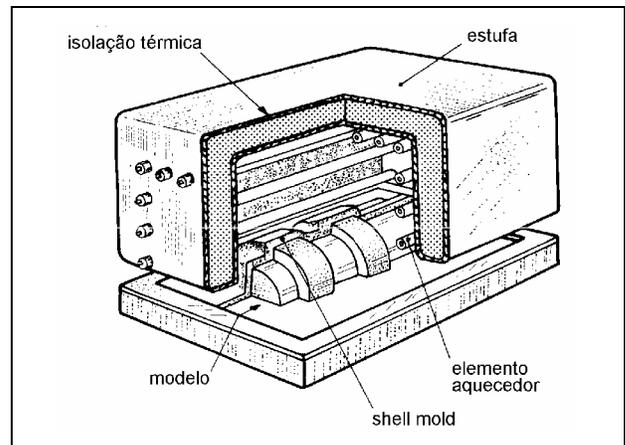
- A placa é então girada contra um reservatório contendo uma mistura de areia/resina de modo que o modelo fique envolto por essa mistura.



- O calor funde a resina que envolve os grãos de areia e essa mistura, após algum tempo (±15 segundos), forma uma casca ("shell") com a espessura necessária (entre 10 e 15 mm) sobre o modelo.



- A "cura" da casca, ou seja, o endurecimento da resina se completa quando a placa é colocada em uma estufa em temperaturas entre 350 e 450°C.



6. Após 2 ou 3 minutos, a casca é extraída do modelo por meio de pinos extratores.

Por causa da característica do processo, a casca corresponde a uma **metade** do molde. Para obter o molde inteiro, é necessário colar duas metades.

Esse processo de moldagem permite que os moldes e machos sejam estocados para uso posterior. Além disso, ele fornece um bom acabamento para a superfície da peça, alta estabilidade dimensional para o molde, possibilidade de trabalhar com tolerâncias mais estreitas, facilidade de liberação de gases durante a solidificação. É totalmente mecanizado e automatizado e é adequado para peças pequenas e de formatos complexos. A fundição das peças é feita por gravidade.

A maior desvantagem desse processo é o custo mais elevado em relação à moldagem em areia verde.

Mas existe outra maneira de se obter o endurecimento, ou cura, da resina sem a utilização de calor. É o processo de cura a frio no qual a resina empregada se encontra em estado líquido. Para que a reação química seja desencadeada, adiciona-se um catalisador à mistura de resina com areia limpa e seca.

Essa mistura é feita, por meio de equipamentos, na hora da moldagem e deve ser empregada imediatamente porque a reação química de cura começa a se desenvolver assim que a mistura está pronta. O processo é o seguinte:

1. Os modelos, que podem ser feitos de madeira, são fixados em caixas.
2. A mistura areia/resina/catalisador é feita e continuamente despejada e socada dentro da caixa, de modo a garantir sua compactação.
3. A reação de cura inicia-se imediatamente após a moldagem e se completa algumas horas depois.
4. O modelo é retirado girando-se a caixa 180°.
5. O molde é então pintado com tintas especiais para fundição. Estas têm duas funções: aumentar a resistência do molde às tensões geradas pela ação do metal líquido, e dar um melhor acabamento para a superfície da peça fundida.
6. O molde é aquecido com maçarico ou é levado para uma estufa para a secagem da tinta.

Com esse processo, os fundidores obtêm moldes mais rígidos para serem usados para a produção de peças grandes e de formatos complicados com bom acabamento de superfície. O vazamento do metal é feito por gravidade.

A cura a frio é um processo de moldagem mais caro quando comparado aos outros processos que usam areia. Além disso, os catalisadores são compostos de substâncias ácidas e corrosivas, que exigem muito cuidado na manipulação porque são muito tóxicas.

### *O que é um molde permanente*

Os processos de fundição por molde permanente usam moldes metálicos para a produção das peças fundidas. Por esses processos realiza-se a fundição por gravidade ou por pressão.

Usar um molde permanente significa que não é necessário produzir um novo molde a cada peça que se vai fundir. A vida útil de um molde metálico permite a fundição de até 100 mil peças. Um número tão impressionante deveria possibilitar a extensão de seu uso a todos os processos de fundição. Só que não é bem assim.

A utilização dos moldes metálicos está restrita aos metais com temperatura de fusão mais baixas do que o ferro e o aço. Esses metais são representados pelas ligas com chumbo, zinco, alumínio, magnésio, certos bronzes e, excepcionalmente, o ferro fundido. O motivo dessa restrição é que as altas temperaturas necessárias à fusão do aço, por exemplo, danificariam os moldes de metal.

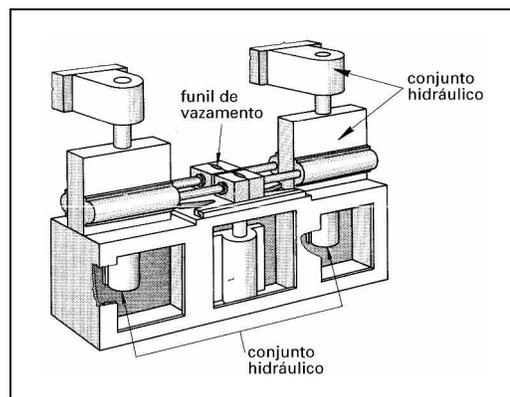
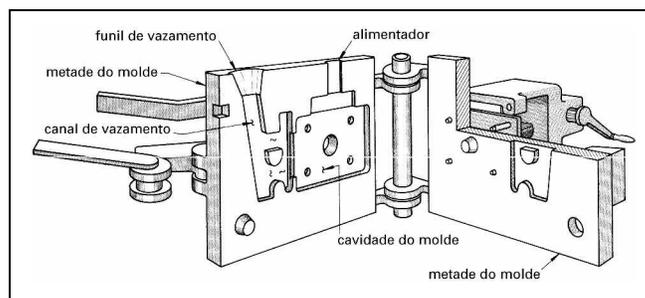
Os moldes permanentes são feitos de aço ou ferro fundido ligado, resistente ao calor e às repetidas mudanças de temperatura. Moldes feitos de bronze podem ser usados para fundir estanho, chumbo e zinco.

Os produtos típicos da fundição em moldes permanentes são: bases de máquinas, blocos de cilindros de compressores, cabeçotes, bielas, pistões e cabeçotes de cilindros de motores de automóveis, coletores de admissão.

Esses produtos, se comparados com peças fundidas em moldes de areia, apresentam maior uniformidade, melhor acabamento de superfície, tolerâncias dimensionais mais estreitas e melhores propriedades mecânicas.

Por outro lado, além de seu emprego estar limitado a peças de tamanho pequeno e produção em grandes quantidades, os moldes permanentes nem sempre se adaptam a todas as ligas metálicas e são mais usados para a fabricação de peças de formatos mais simples, porque uma peça de formas complicadas dificulta não só o projeto do molde, mas também a extração da peça após o processo de fundição.

Para fundir peças em moldes metálicos permanentes, pode-se vaziar o metal por gravidade. Nesse caso, o molde consiste em duas ou mais partes unidas por meio de grampos para receber o metal líquido. Isso pode ser feito manualmente.



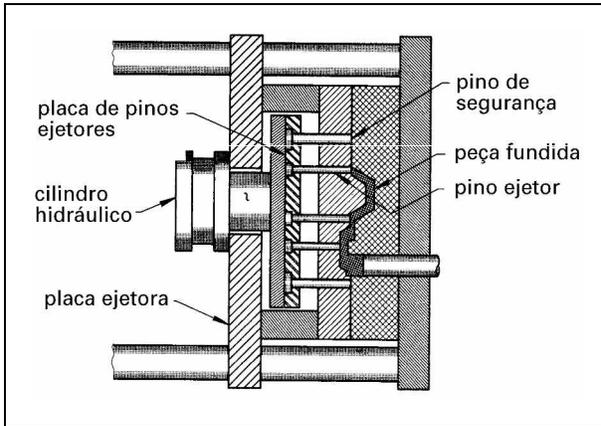
A montagem dos moldes também pode ser feita por meio de dispositivos mecânicos movidos por conjuntos hidráulicos, que comandam o ciclo de abertura e fechamento dos moldes.

Tanto os moldes quanto os machos são cobertos com uma pasta adesiva rala feita de material refratário cuja função, além de proteger os moldes, é impedir que as peças grudem neles, facilitando a desmoldagem.

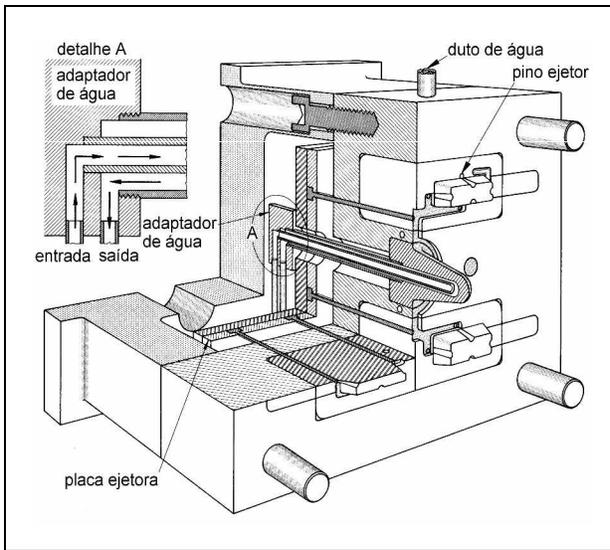
### *Fundição sob pressão*

Os moldes metálicos também são usados no processo de fundição sob pressão. Este consiste em forçar o metal líquido a penetrar na cavidade do molde, chamado de matriz.

A matriz, de aço-ferramenta tratado termicamente, é geralmente construída em duas partes hermeticamente fechadas no momento do vazamento do metal líquido. O metal é bombeado na cavidade da matriz sob pressão suficiente para o preenchimento total de todos os seus espaços e cavidades. A pressão é mantida até que o metal se solidifique. Então, a matriz é aberta e a peça ejetada por meio de pinos acionados hidráulicamente.



Muitas matrizes são refrigeradas a água. Isso é importante para evitar superaquecimento da matriz, a fim de aumentar sua vida útil e evitar defeitos nas peças.



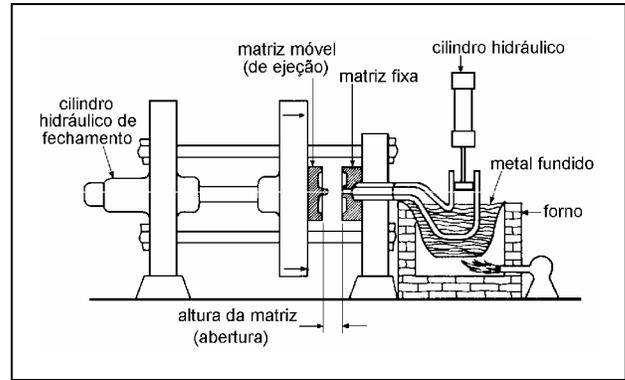
Para realizar sua função, as matrizes têm que ter resistência suficiente para agüentar o desgaste imposto pela fundição sob pressão, e são capazes de suportar entre 50 mil e 1 milhão de injeções.

**Máquinas de fundição sob pressão**

A fundição sob pressão é automatizada e realizada em dois tipos de máquina:

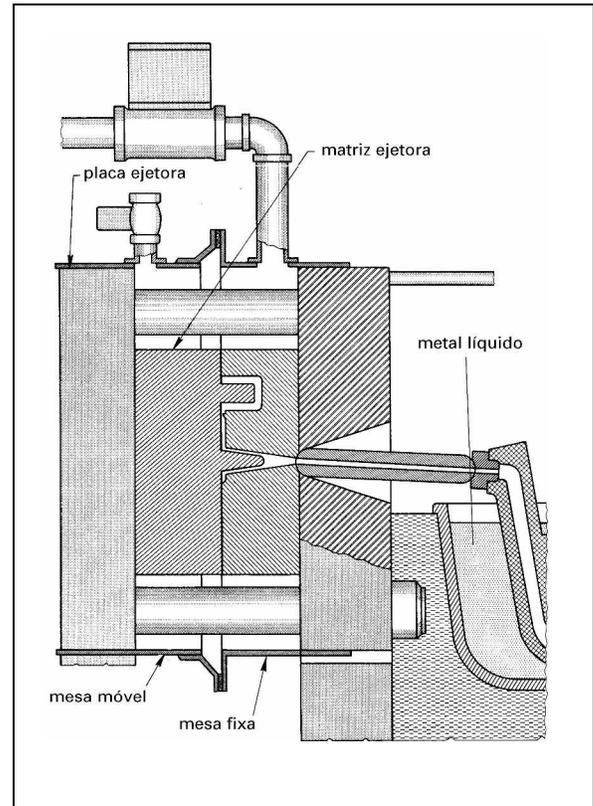
- máquina de câmara quente;
- máquina de câmara fria.

Em princípio, o processo de fundição sob pressão realizado na máquina de câmara quente utiliza um equipamento no qual existe um recipiente aquecido onde o metal líquido está depositado. No seu interior está um pistão hidráulico que, ao descer, força o metal líquido a entrar em um canal que leva diretamente à matriz. A pressão exercida pelo pistão faz com que todas as cavidades da matriz sejam preenchidas, formando-se assim a peça. Após a solidificação do metal, o pistão retorna à sua posição inicial, mais metal líquido entra na câmara, por meio de um orifício, e o processo se reinicia. Uma representação esquemática desse equipamento é mostrada ao lado.



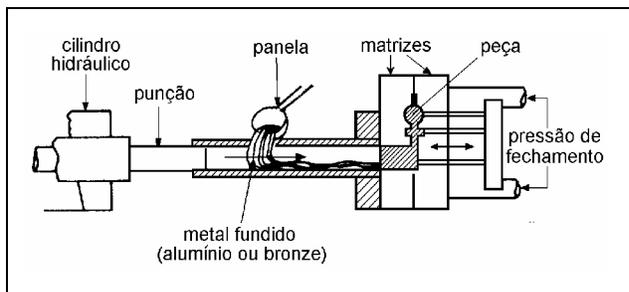
Essa máquina é dotada de duas mesas: uma fixa e outra móvel. Na mesa fixa ficam uma das metades da matriz e o sistema de injeção do metal. Na mesa móvel localizam-se a outra metade da matriz, o sistema de extração da peça e o sistema de abertura, fechamento e travamento da máquina.

Ela é usada quando o metal líquido se funde a uma temperatura que não corrói o material do cilindro e do pistão de injeção, de modo que ambos possam ficar em contato direto com o banho de metal.



Se a liga se funde a uma temperatura mais alta, o que prejudicaria o sistema de bombeamento (cilindro e pistão), usa-se a máquina de fundição sob pressão de câmara fria, empregada principalmente para fundir ligas de alumínio, magnésio e cobre.

O princípio de funcionamento desse equipamento é o mesmo. A diferença é que o forno que contém o metal líquido é uma unidade independente, de modo que o sistema de injeção não fica dentro do banho de metal. Veja representação esquemática ao lado.



A máquina de fundição sob pressão em câmara fria pode ser:

- horizontal, na qual o pistão funciona no sentido horizontal;
- vertical, na qual o sistema de injeção funciona no sentido vertical.

### Vantagens e desvantagens

Como todo o processo de fabricação, a fundição sob pressão tem uma série de vantagens e desvantagens. As vantagens são:

- peças de ligas como a de alumínio, fundidas sob pressão, apresentam maiores resistências do que as fundidas em areia;
- peças fundidas sob pressão podem receber tratamento de superfície com um mínimo de preparo prévio da superfície;
- possibilidade de produção de peças com formas mais complexas;
- possibilidade de produção de peças com paredes mais finas e tolerâncias dimensionais mais estreitas;
- alta capacidade de produção;
- alta durabilidade das matrizes.

As desvantagens são:

- limitações no emprego do processo: ele é usado para ligas não-ferrosas, com poucas exceções;
- limitação no peso das peças (raramente superiores a 5 kg.);
- retenção de ar no interior das matrizes, originando peças incompletas e porosidade na peça fundida;
- alto custo do equipamento e dos acessórios, o que limita seu emprego a grandes volumes de produção.

A indústria automobilística utiliza uma grande quantidade de peças fundidas sob pressão: tampas de válvulas, fechaduras, carcaças de motor de arranque, maçanetas, caixas de câmbio de máquinas agrícolas. O mesmo acontece com a indústria aeronáutica, que usa peças fundidas principalmente de ligas de alumínio e magnésio. Essa variedade de produtos indica a importância desse processo de fabricação dentro do setor de indústria metal-mecânica. Por isso, estude tudo com atenção e faça os exercícios a seguir.

### A Fundição Fica Automática

A automação não é uma coisa nova. Máquinas e processos de fabricação automáticos existem há muito tempo. A própria linha de montagem, criada pela indústria automobilística para produzir uma grande quantidade de carros a baixo preço, é do começo deste século.

Embora não contasse necessariamente com máquinas automáticas, a linha de montagem consistia na automação do processo de fabricação em si. Cada operário tinha uma função típica bem definida, capaz de ser executada de forma repetitiva durante toda a jornada de trabalho.

A partir da década de 50, a automação ganhou um importante aliado: o computador. As máquinas automáticas que passaram a utilizar o computador ganharam uma característica importante chamada flexibilidade, ou seja, a capacidade do processo de fabricação de se adaptar facilmente às mudanças do mercado consumidor.

Imagine, no seu caso que, alguns dias após ter aceito aquele pedido, o comprador da mesma empresa volte e lhe diga que os planos mudaram. A empresa fez uma pesquisa de mercado e decidiu lançar três modelos de produtos diferentes. Assim, em vez daquela única

peça fundida agora serão três. E, em vez de seiscentas peças iguais, serão duzentas peças de cada tipo.

Perceba que, agora, seu problema mudou. Embora a quantidade total de peças a serem fabricadas não tenha mudado, sua diversidade aumentou.

As máquinas automáticas que utilizam computador destinam-se à solução deste tipo de problema. Nas máquinas simplesmente automáticas, a mudança de um produto para outro tem que ser feita trocando-se peças e efetuando regulagens demoradas. Nas máquinas computadorizadas, por outro lado, quando se deseja fabricar outro produto, basta definir uma nova seqüência de operações. E essa nova seqüência de operações, que pode ser comparada a uma receita de bolo, é chamada de programa.

### Nosso amigo o computador

Atualmente é quase impossível pensar em automação industrial sem se lembrar do nosso amigo computador. Ele está presente em praticamente todos os processos de fabricação. Na fundição não podia ser diferente. Sua utilização aqui começa já bem antes do vazamento do metal no molde.

No projeto de uma peça a ser fundida já se utiliza o computador para analisar a capacidade dessa peça de suportar esforços sem se deformar ou romper, de suportar as variações de temperatura, de permitir o fluxo adequado de líquidos e gases, enfim, de cumprir sua futura função com eficiência. E, veja bem, toda essa análise é feita sem ter que se construir uma peça real. A fabricação só será aprovada quando estas análises concluírem que a peça funcionará adequadamente.

Ainda na fase de projeto, outros aspectos, como por exemplo, a geometria da peça, são consideradas a fim de facilitar sua extração do molde. Outro ponto a ser analisado é a localização adequada dos canais de vazamento e distribuição do metal de modo que se propicie um enchimento correto do molde. As sobremedidas também são consideradas na fabricação do modelo, para que a peça, ao contrair durante o resfriamento, chegue ao seu tamanho correto. Todas essas tarefas são agilizadas com o auxílio do computador. Uma vez obtidos os desenhos finais da peça e do seu modelo de fundição, a fase seguinte é a de construção deste modelo.

### Construindo o modelo

No processo convencional de construção do modelo, sua precisão dimensional e acabamento da superfície dependem quase que exclusivamente da habilidade de um profissional chamado modelador de fundição. Eles são verdadeiros artistas que esculpem, normalmente em madeira, as formas por vezes complexas da futura peça fundida. Muitas vezes, devido à sua geometria complicada, tais modelos precisam ser confeccionados por meio da montagem ou colagem de várias peças. É um trabalho delicado e demorado.

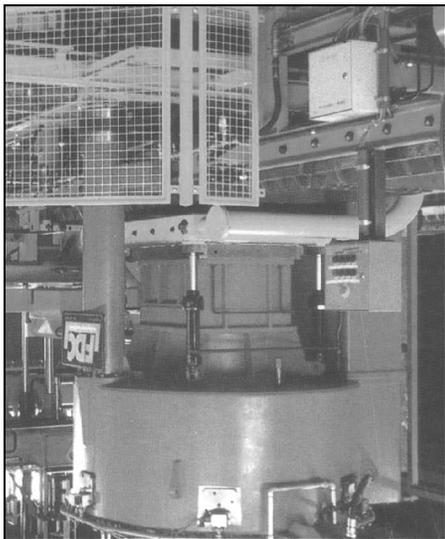
Novamente a automação se faz presente para facilitar o trabalho. A partir do desenho do modelo realizado com o auxílio do computador, produz-se um programa, ou seja, uma seqüência de operações na forma de códigos. Este programa controla os movimentos da ferramenta de uma máquina operatriz computadorizada. A ferramenta, por sua vez, "esculpe" a geometria do modelo na madeira, metal, plástico, isopor ou outro material.



O ser humano só aparece novamente para dar o acabamento final da superfície do modelo, eliminando as marcas deixadas pela ferramenta. A habilidade, visão e tato humanos necessários à realização desta tarefa ainda não conseguiram ser incorporados com sucesso em máquinas automáticas. Pronto e acabado o modelo, passa-se à construção do molde.

### A hora e a vez do molde

A fabricação automatizada de moldes utiliza-se de máquinas de moldagem.



Este tipo de máquina tem por objetivo aumentar a produção e a qualidade dos moldes e já existe há bastante tempo. No entanto, a operação das máquinas foi-se automatizando com o tempo, primeiramente com o auxílio de mecanismos, depois com o uso de componentes elétricos, principalmente os relês, e finalmente, utilizando-se de computadores. Ao homem restaram apenas as tarefas de supervisão e manutenção do equipamento, além da realização de uma ou outra tarefa operacional, como a colocação de grampos e parafusos para fechar o molde, cuja automação é inviável do ponto de vista técnico ou econômico.

Essas máquinas apresentam as seguintes funções:

- Receber as caixas dos moldes;
- Preencher caixas com areia de moldagem;
- Compactar a areia contra as paredes das caixas e contra o modelo;
- Posicionar os machos;
- Confeccionar os canais de vazamento;
- Fechar a caixa.

As mesmas técnicas utilizadas pelo homem na moldagem manual foram transferidas para essas máquinas. Assim, se o ser humano utiliza-se de vibradores manuais para facilitar a acomodação da areia na caixa do molde, a máquina também se utiliza da vibração com o mesmo propósito. Se o homem soca a areia utilizando ferramentas manuais, a máquina também o faz, porém agora com o uso de prensas pneumáticas ou hidráulicas.

Dessa forma, para cada etapa de seu trabalho manual, o homem encontrou um mecanismo, de complexidade maior ou menor, destinado a substituí-lo.

Em seguida, controlou esses vários mecanismos por meio de um computador que envia ordens para motores elétricos e pistões pneumáticos e fica sabendo o que se passa na máquina pelos componentes elétricos e eletrônicos: os sensores.

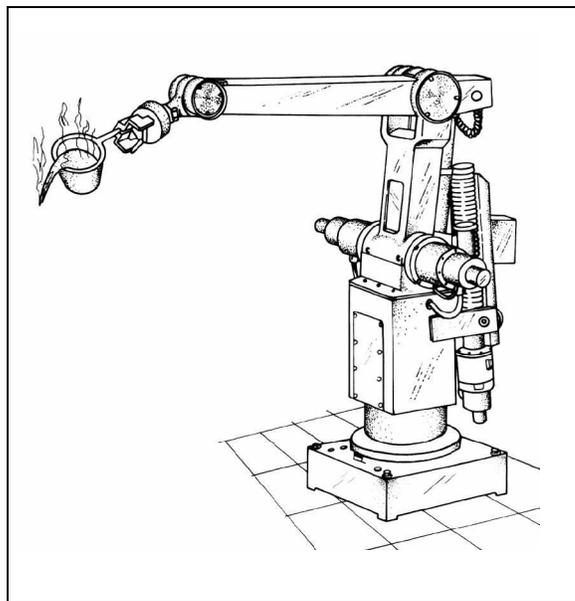
Assim, podemos pensar no computador como o cérebro da máquina, os motores e pistões como seus braços, os sensores como seus olhos e ouvidos. E finalmente o programa, aquela seqüência de instruções semelhante a uma receita de bolo, lembra-se? Pois bem, o programa pode ser comparado, grosso modo, à inteligência da máquina.

### O vazamento

Preparado o molde, este é levado por uma esteira transportadora à estação de vazamento. Esta estação é composta por cadinhos que são alimentados por metal líquido a partir de um forno de fusão.

Esta etapa do processo de fundição traz, em relação à automação, uma justificativa adicional àquelas já vistas: a segurança industrial. O calor existente neste setor faz com que o trabalho dos operadores seja bastante fatigante. Além disso, a repetição monótona da mesma operação e a presença de metais fundidos em elevadas temperaturas são convites aos acidentes de trabalho. Assim, as máquinas automáticas encontram aqui um campo de aplicação bastante promissor, tanto do ponto de vista econômico como de proteção à saúde do trabalhador.

Dentre essas máquinas automáticas merecem destaque os robôs industriais, máquinas computadorizadas que, em alguns modelos, assemelham-se à anatomia de um braço humano. Os robôs podem realizar uma grande diversidade de tarefas, dentre elas o vazamento de metal líquido nos moldes.



Finalmente, após o tempo de resfriamento, os moldes são abertos e as peças retiradas. Nesta etapa, a automação completa é difícil, principalmente se as peças são muito grandes ou se o número de tipos diferentes de peças é elevado. O objetivo básico desta etapa é separar as caixas, as peças fundidas e as areias do molde e dos machos.

As caixas dos moldes retornarão à primeira fase do processo. Os canais de vazamento e distribuição deverão ser retirados das peças fundidas. Se as peças forem pequenas, esta etapa pode contar com a utilização de operações de tamboreamento. O processo que normalmente não é automático, consiste na colocação das peças a serem rebarbadas dentro de um recipiente rotativo: o tambor. Quando este tambor gira, as peças em seu interior chocam-se contra suas paredes e umas contra as outras. As rebarbas então, são retiradas pelo impacto e pelo atrito resultantes.



Sem os canais, a peça ainda pode apresentar rebarbas que prejudicam seu funcionamento e causam má impressão visual. Nesta fase, a utilização de robôs industriais tem-se mostrado bastante adequada. Com a utilização de ferramentas abrasivas rotativas, estas máquinas, obedecendo à seqüência de instruções – os programas – podem se adaptar à uma grande variedade de geometrias de peças e rebarbar seus contornos com precisão e rapidez.

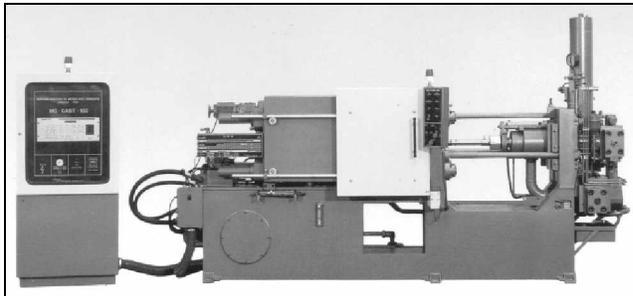
### Automação da fundição sob pressão

O processo de fundição sob pressão apresenta, como você já viu em aulas anteriores, uma característica importante: utiliza uma máquina específica – a injetora – capaz de transformar diretamente a matéria-prima (metal líquido) em produto acabado.

A automatização dessas injetoras pode ser feita sem o auxílio do computador, utilizando-se apenas componentes elétricos ou eletrônicos para controlar seus movimentos. Mas, as injetoras modernas não dispensam o computador. Esse computador recebe um nome diferente: CLP, abreviação de Controlador Lógico Programável. Nome bonito, hein?! Mas não se assuste. Ele não passa de um computador com uma tarefa bem definida: controlar máquinas.

A partir de um programa, ou seja, aquela seqüência de ações que é colocada em sua memória, o CLP deve mandar “ordens” (sinais elétricos) para os motores elétricos e válvulas hidráulicas ou pneumáticas da máquina. Estas válvulas acionam os pistões que posicionam o bico do injetor no ponto desejado, fecham e abrem o molde e realizam, juntamente com os motores, os demais movimentos da máquina.

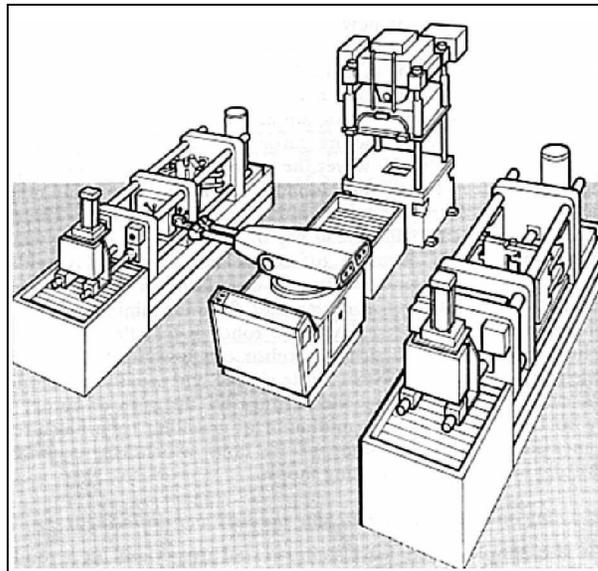
Para completar a brincadeira, existem os sensores. Os sensores são dispositivos elétricos ou eletrônicos que informam ao CLP se a ordem enviada por ele foi cumprida adequadamente ou não. Caso seja necessário, o CLP toma providências para corrigir o desvio entre o que foi programado e o que realmente ocorreu. Além dos movimentos, o CLP também controla a pressão de injeção do metal, a força de fechamento do molde, a pressão e a vazão do óleo lubrificante, garantindo, assim, uma grande independência da operação da máquina em relação ao homem.



Nas injetoras de câmara quente automáticas, o operador deve, periodicamente, abastecer o cadinho da máquina com lingotes de metal. Em muitos casos, mesmo esta tarefa é realizada automaticamente por meio de sistemas de alimentação que detectam o nível de metal no cadinho e o abastecem, caso seja necessário, com lingotes transportados a partir de um local de armazenamento.

Nas injetoras de câmara fria, o metal líquido é abastecido em quantidade suficiente para produzir as peças de um único ciclo de injeção, ou seja, entre um fechamento e outro do molde. Esta tarefa pode ser realizada pelo próprio operador ou ser deixada a cargo de um robô.

O robô enche, com metal líquido, um pequeno cadinho preso em sua garra e o derrama dentro do injetor da máquina. Em seguida, os passos da seqüência de injeção serão executados por meio do CLP.



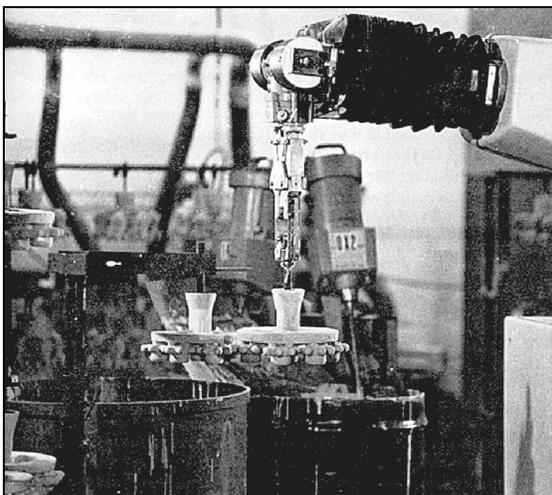
Após o término do ciclo de injeção, o mesmo robô, utilizando-se de outro tipo de ferramenta, pode retirar a peça injetada e depositá-la numa esteira, por exemplo. O descarregamento de peças fundidas sob pressão foi, inclusive, uma das primeiras tarefas dos robôs quando começaram a ser utilizados na indústria no início da década de 60.

### Mais robôs

O processo de fundição denominado “Shell Molding”, ou moldagem em casca, adapta-se muito bem à automação. Isto porque, partindo de um único modelo metálico, devemos fabricar tantos moldes (cascas) quantas forem as peças a serem produzidas. E quando se fala em trabalho repetitivo, é impossível deixar de pensar em automação. Dessa maneira, foram desenvolvidas máquinas que podem realizar automaticamente parte das operações necessárias à fabricação dos moldes. Dependendo da complexidade da máquina, pode-se ter desde um simples controle automático da temperatura do modelo metálico, até a sua cobertura com areia e a posterior desmoldagem da casca feitas sem o auxílio do homem.

O processo de fundição de precisão, também chamado de fundição por moldagem em cera perdida, beneficia-se, em parte, da mesma forma de automação utilizada no processo de fundição sob pressão. É que, como você já viu em aulas anteriores, na fundição de precisão é necessário produzir um modelo para cada peça. Como o modelo é feito de plástico ou cera, e em grande quantidade, nada melhor do que utilizar uma injetora de plásticos.

De posse dos modelos, a fabricação dos moldes, no processo de fundição sob pressão, também pode contar com o auxílio dos robôs, para auxiliar na cobertura dos modelos de cera ou plástico com a mistura de areia utilizada no processo.



Bem, voltando ao início da aula onde começamos todo esse papo sobre automação, vejamos como você poderia resolver o seu problema.

Felizmente, nesse caso, você não terá que se preocupar com todas as fases que descrevemos aqui. Seu cliente já havia projetado a peça fundida e, mais que isso, trouxe até o modelo pronto. Além disso, ele também disse que cuidaria das fases de tamboreamento e rebarbação.

Mas também não fique tão aliviado assim. Você tem ainda muito trabalho pela frente. Como não há tempo para comprar novas máquinas, você terá que adaptar as que já tem. Peça a ajuda daqueles seus antigos colegas, mecânicos e eletricitas, do tempo de fábrica. Aquela sua velha máquina de moldar pode ser parcialmente automatizada com a ajuda de componentes hidráulicos, pneumáticos e elétricos.

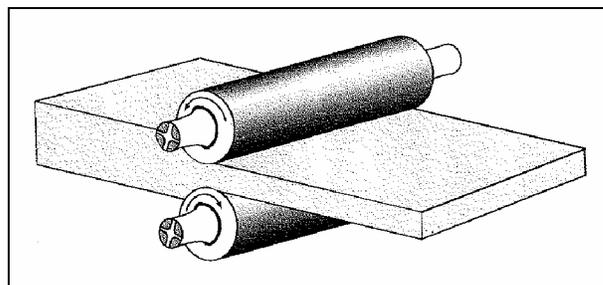
Na falta de um robô e com um pouco de imaginação, você pode construir um dispositivo pneumático para auxiliar no vazamento de metal no molde. Você ainda não terá um processo tão flexível como gostaria. Será uma automação conhecida como automação rígida, adequada a uma pequena diversidade de produtos. No entanto, poderá ajudá-lo a atender seu cliente de forma satisfatória.

Para os próximos pedidos, no entanto, seria bom você já ir pensando na utilização de máquinas computadorizadas. Elas trarão mais flexibilidade ao seu processo de fabricação, permitindo que você se adapte mais rapidamente às mudanças nas necessidades do mercado consumidor. E aí, então, quem terá que se modernizar será seu concorrente.

## Conformação por laminação

A laminação é um processo de conformação mecânica pelo qual um lingote de metal é forçado a passar por entre dois cilindros que giram em sentidos opostos, com a mesma velocidade. Assim consegue-se a redução da espessura do metal a cada passe de laminação, que é como se chama cada passagem do metal pelos cilindros de laminação.

Ào passar entre os cilindros, o material sofre deformação plástica. Por causa disso, ele tem uma redução da espessura e um aumento na largura e no comprimento. Como a largura é limitada pelo tamanho dos cilindros, o aumento do comprimento é sempre maior do que o da largura.



Se você quer saber como isso funciona, pare numa pastelaria e veja como o pasteleiro estica a massa. Observe como, a cada passada, ele reajusta a distância entre os cilindros. Veja que a massa fica cada vez mais comprida e mais fina. Aproveite e coma um pastel e tome um caldo de cana geladinho. Não existe nada mais gostoso...

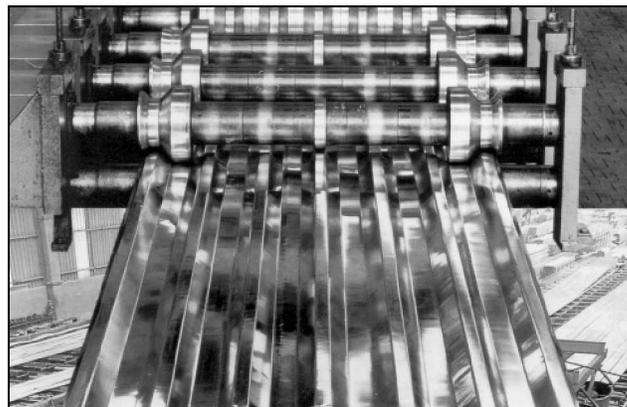
A laminação pode ser feita a quente ou a frio. Ela é feita a quente quando o material a ser conformado é difícil de laminar a frio ou quando necessita de grandes reduções de espessura. Assim, o aço, quando necessita de grandes reduções, é sempre laminado a quente porque, quando aquecido, sua estrutura cristalina apresenta a configuração FCC que, como já vimos, se presta melhor à laminação. Além disso, nesse tipo de estrutura, as forças de coesão são menores, o que também facilita a deformação.

**Encruamento** é o resultado de uma mudança na estrutura do metal, associada a uma deformação permanente dos grãos do material, quando este é submetido à deformação a frio. O encruamento aumenta a dureza e a resistência mecânica.

A laminação a frio se aplica a metais de fácil conformação em temperatura ambiente, o que é mais econômico. É o caso do cobre, do alumínio e de algumas de suas ligas.

A laminação a frio também pode ser feita mesmo em metais cuja resistência à deformação é maior. São passes rápidos e brandos cuja finalidade é obter maior precisão nas dimensões das chapas. Em alguns casos, a dureza e a resistência do material melhoram já que, nesse caso, ele fica "encruado". Quando se necessita de precisão dimensional e ductilidade, a chapa laminada a frio passa por um tratamento térmico chamado recozimento.

Sendo a quente ou a frio, a laminação parte dos lingotes que, passando pelos laminadores, pode se transformar em produtos de uso imediato como trilhos, vigas e perfis. Pode se transformar também em produtos intermediários que serão usados em outros processos de conformação mecânica.



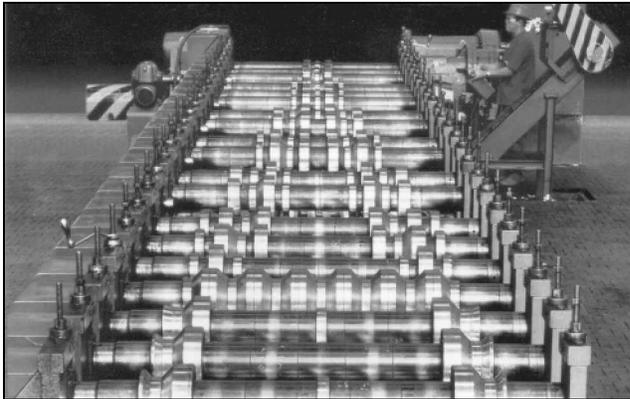
É o caso de tarugos que passarão por forjamento, extrusão e trefilação e das chapas que serão estampadas para a fabricação de automóveis, ônibus, fogões, geladeiras...

A máquina de laminar chama-se...

Isso mesmo, caro aluno, **laminador**. O laminador é o equipamento que realiza a laminação.

Mas, não é só de laminadores que a laminação é composta. Um setor de laminação é organizado de tal modo que a produção é seriada e os equipamentos são dispostos de acordo com a seqüência de operações de produção, na qual os lingotes entram e, ao saírem, já estão com o formato final desejado seja como produto final, seja como produto intermediário.

As instalações de uma laminação são compostas por fornos de aquecimento e reaquecimento de lingotes, placas e tarugos, sistemas de roletes para deslocar os produtos, mesas de elevação e basculamento, tesouras de corte e, principalmente, o laminador.

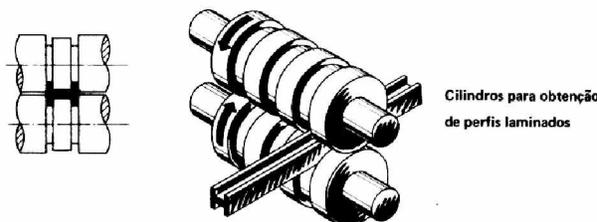
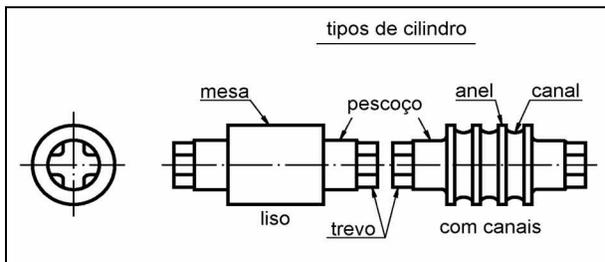


Ele é um conjunto mecânico bem parecido com a máquina do pasteleiro.

É composto de:

- cadeira - é o laminador propriamente dito e que contém a gaiola, os cilindros e os acessórios.
- gaiola - estrutura que sustenta os cilindros.

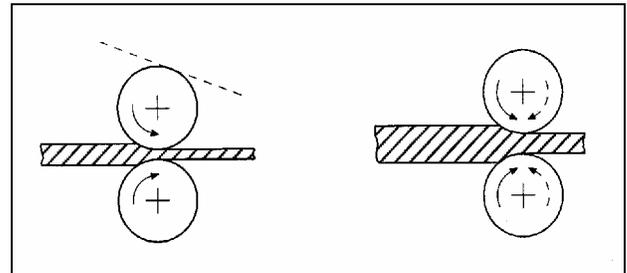
Os cilindros são as peças-chave dos laminadores, porque são eles que aplicam os esforços para deformar o metal. Eles podem ser fundidos ou forjados; são fabricados em ferro fundido ou aço especial, dependendo das condições de trabalho a que eles são submetidos. Podem ser lisos, para a produção de placas e chapas, ou com canais, para a produção de perfis.



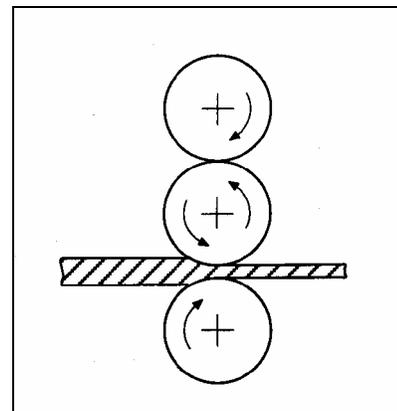
Os laminadores podem ser montados isoladamente ou em grupos, formando uma seqüência de vários laminadores em série. Esse conjunto recebe o nome de **trem de laminação**. Junto a esse conjunto, trabalham os equipamentos auxiliares, ou seja, os empurradores, as mesas transportadoras, as tesouras, as mesas de elevação...

Os laminadores podem ser classificados quanto ao número de cilindros que eles apresentam. Assim temos:

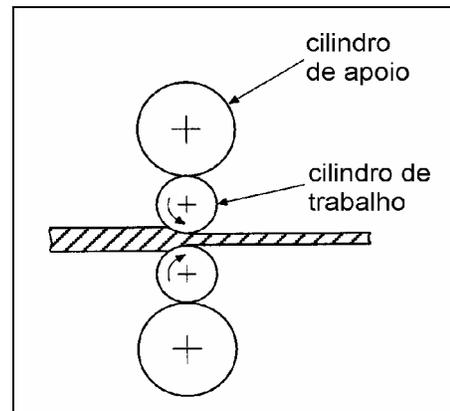
**Duo** - composto de dois cilindros de mesmo diâmetro, que giram em sentidos opostos, na mesma velocidade.



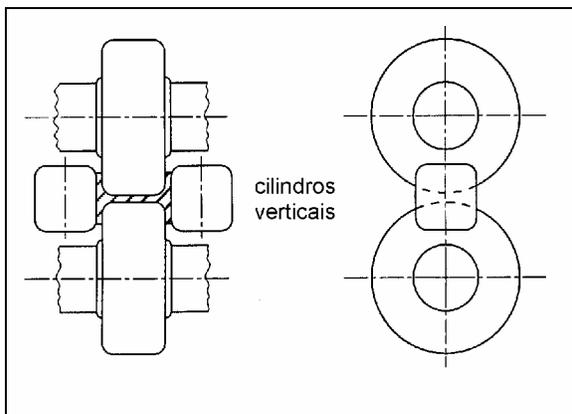
**Trio** - três cilindros dispostos uns sobre os outros. Quando o material passa pela primeira vez, ele passa entre o cilindro inferior e médio. Quando ele retorna, passa pelo cilindro médio e superior.



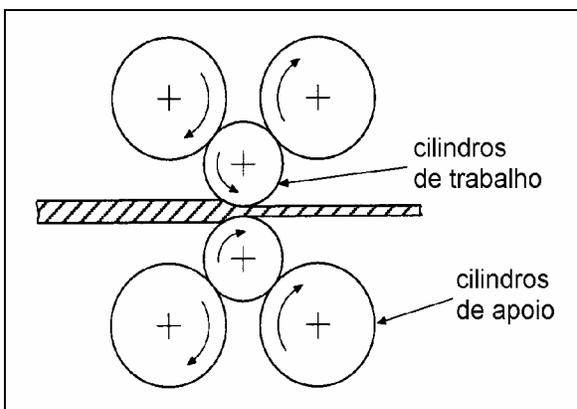
**Quádruo** - apresenta quatro cilindros: dois internos (de trabalho) e dois externos (de apoio).



**Universal** - apresenta quatro cilindros combinados: dois horizontais e dois verticais. Ele é utilizado para a laminação de trilhos.



**Sendzimir** - apresenta seis cilindros dos quais dois são de trabalho e quatro são de apoio.



A laminação nunca é feita de uma só vez. Assim como o pasteleiro passa a massa pela máquina várias vezes até que ela tenha a espessura desejada, o metal também é passado diversas vezes pelo laminador a fim de que o perfil ou a chapa adquiram ou o formato, ou a espessura adequada para o próximo uso.

Nessas passagens, você obtém inicialmente a laminação de desbaste, cuja função é transformar os lingotes de metal em produtos intermediários ou semi-acabados como blocos, placas e tarugos. Esses produtos passam depois pelos laminadores acabadores onde são transformados em produtos acabados como perfilados, trilhos, chapas, tiras.

### Laminando um produto plano

Como já dissemos, para obter um produto laminado, ele tem que passar diversas vezes pelos laminadores. Na verdade, esse processo tem várias etapas, porque além da passagem pelos cilindros, algumas coisas vão acontecendo à medida que o produto vai sendo laminado. Essas etapas são, em geral, as seguintes:

1. O lingote, pré-aquecido em fornos especiais, passa pelo laminador de desbaste e se transforma em placas.
2. A placa é reaquecida e passa então por um laminador que quebra a camada de óxido que se formou no aquecimento. Nessa operação usa-se também jato de água de alta pressão.
3. Por meio de transportadores de roletes, a placa é levada a um outro laminador que diminui a espessura e também aumenta a largura da placa original. Na saída dessa etapa, a chapa também passa por um dispositivo que achata suas bordas e por uma tesoura de corte a quente.
4. Finalmente, a placa é encaminhada para o conjunto de laminadores acabadores, que pode ser formado de seis laminadores quádruplos. Nessa etapa ela sofre reduções sucessivas, até atingir a espessura desejada e se transformar finalmente em uma chapa.

5. Quando sai da última cadeira acabadora, a chapa é enrolada em bobina por meio de bobinadeiras.

Para a obtenção de espessuras ainda menores, a laminação prossegue, porém a frio. Para isso, as bobinas passam por um processo de limpeza da superfície chamado de decapagem.

Após a laminação a frio, que dá à superfície da chapa um acabamento melhor, ela é rebobinada. A bobina resultante passa por um processo de tratamento térmico que produz a recristalização do material e anula o encruamento ocorrido durante a deformação a frio.

Além da grande variedade de produtos de aço que se pode fabricar por laminação, esse processo de conformação mecânica também é aplicável ao cobre e suas ligas, ao alumínio e suas ligas, à borracha e ao papel.

### Características e defeitos dos produtos laminados

Cada produto industrial tem características que o diferenciam dos outros. Não é diferente com relação aos produtos laminados.

Por exemplo, as formas desses produtos são muito simples: barras, perfis, chapas. Seu comprimento é sempre muito maior que sua largura e, na maioria dos casos, as espessuras também são reduzidas.

Os produtos laminados são empregados tanto na construção civil (casas, apartamentos, prédios industriais, pontes, viadutos), quanto na indústria mecânica, na usinagem para a produção em série de grandes quantidades de peças como parafusos, brocas, pinos, eixos, barras de seções diversas e chapas trabalhadas (furadas, cortadas, fresadas, retificadas). Em geral, o formato adequado do produto laminado, próximo do produto final usinado, aumenta muito a produtividade dos setores de usinagem.

Além das características, os produtos laminados apresentam defeitos que, geralmente, originam-se dos defeitos de fabricação do próprio lingote. Assim, os defeitos mais comuns dos produtos laminados são:

- **Vazios** - podem ter origem nos rechupes ou nos gases retidos durante a solidificação do lingote. Eles causam tanto defeitos de superfície quanto enfraquecimento da resistência mecânica do produto.
- **Gotas frias** - são respingos de metal que se solidificam nas paredes da lingoteira durante o vazamento. Posteriormente, eles se agregam ao lingote e permanecem no material até o produto acabado na forma de defeitos na superfície.
- **Trincas** - aparecem no próprio lingote ou durante as operações de redução que acontecem em temperaturas inadequadas.
- **Dobras** - são provenientes de reduções excessivas em que um excesso de massa metálica ultrapassa os limites do canal e sofre recalque no passe seguinte.
- **Inclusões** - são partículas resultantes da combinação de elementos presentes na composição química do lingote, ou do desgaste de refratários e cuja presença pode tanto fragilizar o material durante a laminação, quanto causar defeitos na superfície.
- **Segregações** - acontecem pela concentração de alguns elementos nas partes mais quentes do lingote, as últimas a se solidificarem. Elas podem acarretar heterogeneidades nas propriedades como também fragilização e enfraquecimento de seções dos produtos laminados.

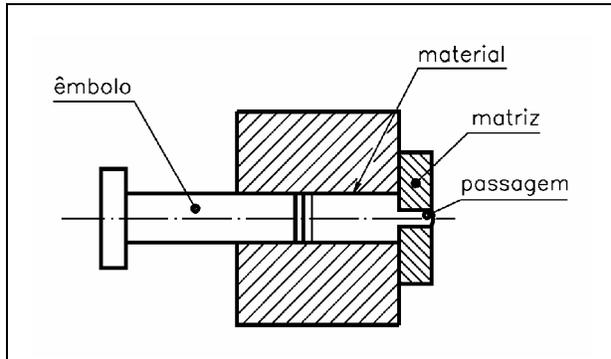
Além disso, o produto pode ficar empenado, retorcido, ou fora de seção, em consequência de deficiências no equipamento, e nas condições de temperatura sem uniformidade ao longo do processo.

A aula sobre laminação termina aqui. Se você quiser saber mais, consulte a bibliografia no final deste livro. Você vai descobrir que há ainda muito o que estudar e aprender!

## Extrusão

Assim como a laminação, a extrusão é um processo de fabricação de produtos semi-acabados, ou seja, produtos que ainda sofrerão outras operações, tais como corte, estampagem, usinagem ou forjamento, antes de seu uso final. Como resultado disso, obtém-se uma das importantes características do produto extrudado: seção transversal reduzida e grande comprimento.

O processo de extrusão consiste basicamente em forçar a passagem de um bloco de metal através do orifício de uma matriz. Isso é conseguido aplicando-se altas pressões ao material com o auxílio de um êmbolo.



Trata-se de um processo de fabricação relativamente novo, se comparado com a maioria dos outros processos de conformação mecânica. As primeiras experiências com extrusão foram feitas com chumbo no final do século passado. O maior avanço aconteceu durante a Segunda Guerra Mundial, com a produção de grandes quantidades de perfis de alumínio para serem usados na indústria aeronáutica.

Atualmente, não só metais mais dúcteis, como o alumínio e suas ligas e o cobre e suas ligas, podem passar pelo processo de extrusão. Também é possível fabricar produtos de aço ao carbono e aço inoxidável por meio de extrusão. Produtos de plástico, principalmente embalagens, também são fabricados por extrusão.

No que se refere ao uso do alumínio, as variedades de perfis que se pode fabricar é quase ilimitada. As seções obtidas são mais resistentes porque não apresentam juntas frágeis e há melhor distribuição do metal. O processo fornece, também, uma boa aparência para as superfícies.

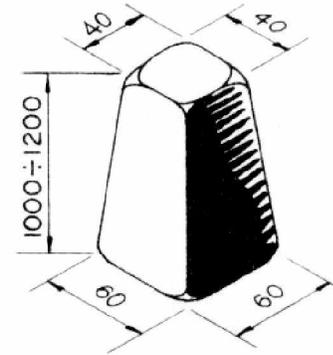
### Etapas do processo

De acordo com o tipo de metal, que deve suportar rigorosas condições de atrito e temperatura, e com a seção a ser obtida, a extrusão pode ser realizada **a quente** ou **a frio**.

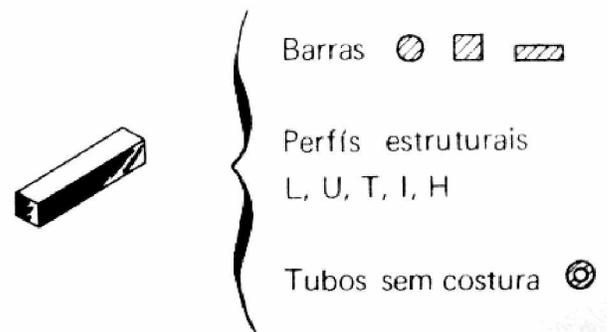
O metais mais duros, como o aço, passam normalmente pelo processo de extrusão a quente. Esse processo envolve as seguintes etapas:

1. Fabricação de lingote ou tarugo de seção circular.
2. Aquecimento uniforme do lingote ou tarugo.
3. Transporte do lingote ou tarugo aquecido para a câmara de extrusão. Essa etapa deve ser executada o mais rapidamente possível para diminuir a oxidação na superfície do metal aquecido.
4. Execução da extrusão: com o tarugo aquecido apoiado diante da câmara de extrusão, o pistão é acionado e o material é empurrado para o interior da câmara.
5. Fim da extrusão: o pistão recua e a câmara se afasta para a retirada do disco e da parte restante do tarugo.
6. Remoção dos resíduos de óxido com o auxílio de disco raspador acionado pelo pistão.

**Lingote** é o bloco de metal produzido por fundição.



**Tarugo** é o bloco de metal obtido pela laminação de um lingote.



Considerando-se que o trabalho a quente traz problemas de oxidação do bloco de metal e das ferramentas de extrusão, a temperatura de trabalho deve ser a mínima necessária para fornecer ao metal o grau de plasticidade adequado.

Devido à intensa deformação produzida durante a extrusão, pode ocorrer um sensível aquecimento do metal. Portanto, a temperatura máxima do processo deve ser seguramente inferior à temperatura de "liquação", ou seja, aquela em que acontece a fusão do contorno dos grãos.

Se a temperatura de extrusão ficar muito próxima à de liquação, o aquecimento produzido pelo atrito e pela compressão da matriz, poderá atingir a temperatura de fusão e impedir a fabricação do produto por extrusão.

Deve-se lembrar, também, de que a temperatura do material na zona de deformação depende da velocidade de deformação e do grau de compressão. Isso significa que a temperatura aumenta quando aumentam a velocidade e a deformação, por causa do aumento do atrito devido ao aumento da velocidade de deformação e do grau de compressão.

Na extrusão a quente, as reduções de área conseguidas são da ordem de 1:20 (um para vinte). Isso significa que, se você tiver uma barra de 100 mm<sup>2</sup> de área, ela pode ter sua área reduzida para 5 mm<sup>2</sup>.

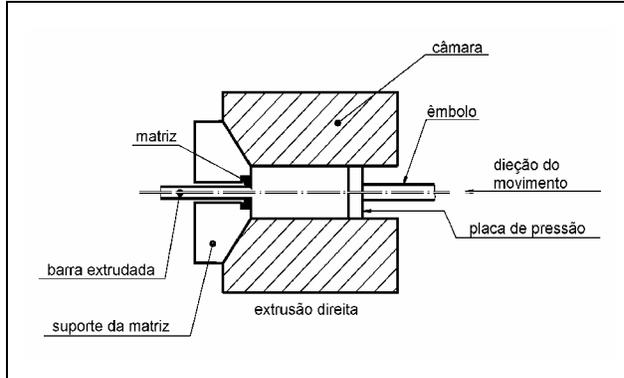
Os materiais mais dúcteis, como o alumínio, podem passar por extrusão tanto a frio quanto a quente e obtêm reduções de área da ordem de 1:100 (um para cem).

Na extrusão a frio, o material endurece por encruamento durante a deformação porque os grãos do metal se quebram e assim permanecem, aumentando as tensões na estrutura e, conseqüentemente, sua dureza. Na extrusão a quente, os grãos se reconstituem após a extrusão por causa da alta temperatura.

## Tipos de processos de extrusão

A extrusão pode ser realizada de duas maneiras básicas: **direta** ou **indiretamente**.

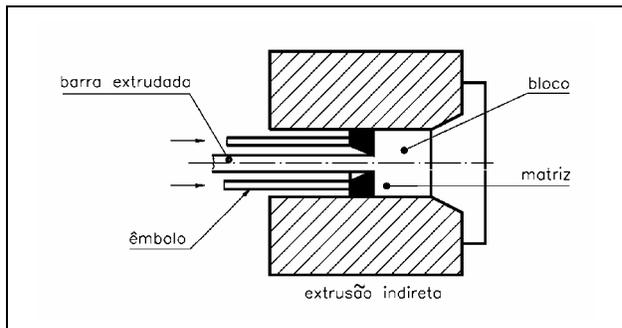
Na extrusão direta o bloco metálico a ser processado é colocado em uma câmara ou cilindro, e empurrado contra uma matriz através de um pistão, acionado por meios mecânicos ou hidráulicos.



Para proteger o pistão da alta temperatura e da abrasão resultantes do processo de extrusão direta, emprega-se um bloco de aço, chamado de falso pistão entre o material metálico e o êmbolo. Usa-se também um pedaço de grafite entre o metal e o pistão a fim de assegurar que todo o material metálico passe pela matriz.

Nesse processo, a deformação ocorre na matriz, enquanto que o resto do material é contido pelas paredes do cilindro. Desse modo, não se produz nenhuma instabilidade no material. Isso torna possível alcançar elevadas reduções (até 99%) no material processado.

Na **extrusão indireta**, o êmbolo é oco e está ligado à matriz. A extremidade oposta da câmara é fechada com uma placa. O êmbolo oco empurra a matriz de encontro ao metal e este sai da matriz em **sentido contrário** ao movimento da haste.



Como não há movimento relativo entre o bloco de metal e as paredes da câmara, as forças de atrito são muito menores e as pressões necessárias são também menores do que na extrusão direta. Por outro lado, como o êmbolo é furado, as cargas a serem utilizadas são limitadas e não é possível obter perfis com formatos complexos. Por isso, o processo de extrusão **direta** é o mais empregado.

Os equipamentos usados na extrusão consistem em prensas horizontais, mecânicas ou hidráulicas, com capacidades normais entre 1 500 e 5 mil toneladas. Prensas hidráulicas conseguem cargas de até 30 mil toneladas!

Além dessas prensas, são necessários equipamentos auxiliares para a realização do processo. Eles incluem fornos para aquecimento dos tarugos, fornos de tratamento térmico, além de equipamentos para transporte e corte dos perfis.

## Defeitos da extrusão

Existem vários defeitos típicos dos processos de extrusão. Por exemplo: no processo de extrusão, a deformação não é uniforme. Por isso, o centro do tarugo move-se mais rapidamente que a periferia, e forma-se uma "zona morta" ao longo da superfície externa do tarugo. Quando a maior parte do bloco de metal já passou pela matriz, a superfície externa move-se para o centro e começa a fluir pela matriz. Como essa superfície externa contém uma película de óxido, aparecem **linhas internas** de óxido no interior do produto.

Se esse produto for cortado transversalmente, esse óxido aparecerá na forma de um anel que não permite a colagem das partes a ele adjacentes.

Outro defeito que pode aparecer por causa da diferença de velocidade entre o núcleo do tarugo e a periferia, é a **formação de uma cavidade** no centro da superfície do material em contato com o pistão, quando o processo de extrusão atinge a etapa final.

Essa cavidade cresce gradualmente em diâmetro e profundidade, transformando a barra em um tubo. Por isso, essa parte final do produto deverá ser descartada. O aspecto desse defeito é semelhante ao de um rechupe interno.

O **arrancamento** é o defeito que se forma na superfície do produto e aparece na forma de perda de material da superfície, quando o produto passa muito rapidamente pela matriz.

Produtos fabricados pelo processo de extrusão podem apresentar também **bolhas** na superfície. Elas podem ser causadas pela presença de hidrogênio e materiais provenientes da fundição do lingote ou por ar contido dentro do recipiente da prensa.

Os defeitos que acabamos de descrever podem ser evitados da seguinte forma:

### Cavidade no produto:

- descartar a porção final do produto.

### Anel de óxido:

- não extrudar o tarugo até o fim;
- aquecer o recipiente a uma temperatura 50°C menor que a temperatura do tarugo;
- não deixar o diâmetro do produto extrudado ultrapassar um valor a partir do qual o anel de óxido começa a aparecer.

### Arrancamento:

- diminuir a velocidade de extrusão;
- diminuir a temperatura de extrusão.

### Bolhas

- eliminar gases dissolvidos no metal líquido durante a fundição do lingote.

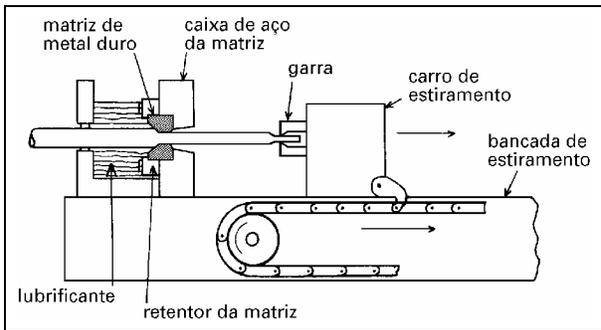
Já temos bastante informações para você estudar. Que tal fazer isso agora?

## Puxa e estica

Acender a luz, falar ao telefone, ligar o som, a televisão ou um outro eletrodoméstico qualquer, andar de elevador. Nada disso seria possível sem a **trefilação**, pois os fios elétricos de cobre ou alumínio, os cabos e arames de aço necessários para essas atividades tão comuns do século vinte são fabricados por esse processo de conformação mecânica.

Por esse processo, é possível obter produtos de grande comprimento contínuo, seções pequenas, boa qualidade de superfície e excelente controle dimensional.

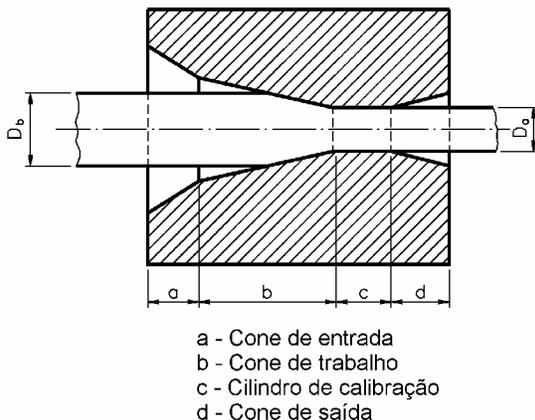
O princípio do processo de trefilação é, de certa forma, parecido com o da extrusão, ou seja, é necessário que o material metálico passe por uma matriz para ter seu diâmetro diminuído e seu comprimento aumentado. A grande diferença está no fato de que, em vez de ser empurrado, o material é **puxado**. Além disso, a trefilação é normalmente realizada a frio.



Existem bancos de tração de até 100 toneladas, capazes de trabalhar a uma velocidade de até 100 metros por minuto, percorrendo distâncias de até 30 metros. Em alguns casos, vários conjuntos desse tipo podem ser montados em série, a fim de produzir arames e fios com diâmetros ainda menores.

A barra que deve ser trefilada é chamada de **fio de máquina**. Ela deve ser apontada, para facilitar a passagem pela fieira, e presa por garras de tração que vão puxar o material para que ele adquira o diâmetro desejado.

A **fieira** é uma ferramenta cilíndrica que contém um furo no centro por onde passa o fio, e cujo diâmetro vai diminuindo. Assim seu perfil apresenta o formato de um funil.



A razão da presença desse ângulo, geralmente maior que o ângulo de trefilação, é facilitar a lubrificação e, conseqüentemente, a passagem do material. A lubrificação é necessária para facilitar a passagem do metal pela fieira, a fim de diminuir o atrito entre o fio e o cone de trabalho.

O **cilindro de calibração** serve para ajustar o diâmetro do fio. O **cone de saída**, por sua vez, permite a saída livre do fio.

A fieira é construída de metal duro para fios de diâmetro maior que 2 mm, ou diamante para fios de diâmetro de até 2 mm. Esses materiais são usados para que a fieira possa resistir às condições severas e grandes solicitações características desse processo.

### Etapas do processo

O processo de trefilação compreende as seguintes etapas:

1. Laminação e usinagem para a produção do fio máquina.
2. Decapagem mecânica ou química que retira os óxidos presentes na superfície do fio máquina.

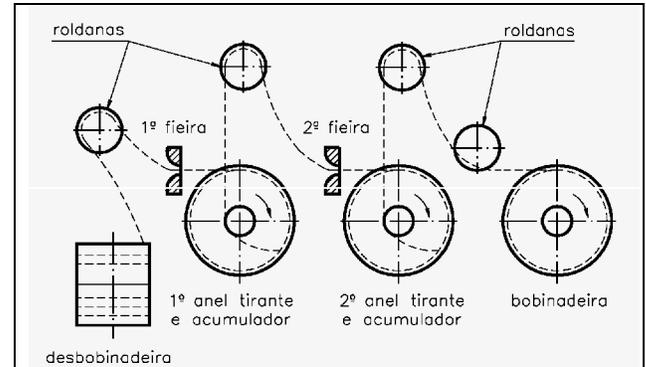
### 3. Trefilação

4. Tratamento térmico de recozimento, quando é necessário restabelecer o ductilidade do material.

Para a trefilação propriamente dita, existem dois tipos básicos de máquinas de trefilar:

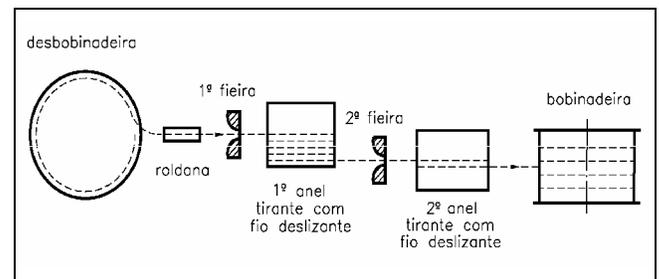
- sem deslizamento

Nessa máquina, o fio é tracionado, ou seja, puxado, e depois de passar pelo furo da fieira, ele vai para um anel tirante que acumula o fio antes de liberar sua movimentação em direção a uma segunda fieira onde o processo se repete. Isso é feito quantas vezes forem necessárias para obter a bitola desejada para o fio. Ao término desse processo, o fio é enrolado em uma bobinadeira.



- com deslizamento

Essa máquina é usada para a trefilação de fios metálicos de pequeno diâmetro. Nela, o fio parte de uma bobina, passa por uma roldana e segue alinhado até a primeira fieira. Na saída da fieira, o fio é tracionado por um anel tirante e é enrolado nele com um número de voltas que depende da força do atrito necessária para tracionar o fio através da primeira fieira.



O movimento helicoidal do fio provoca seu deslizamento lateral pelo anel e o sistema prossegue dessa forma para as demais fieiras e anéis.

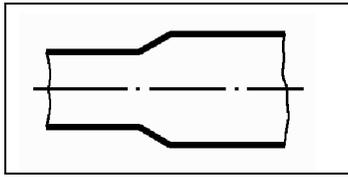
### Características e defeitos dos produtos trefilados

Como já dissemos, os produtos trefilados caracterizam-se por seu grande comprimento e pequena seção transversal.

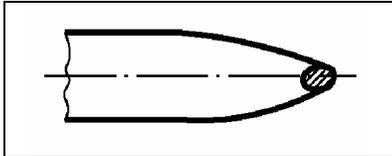
Dependendo de sua utilização, formato, seção transversal, eles recebem uma denominação. Assim, as barras possuem diâmetro maior que 5 mm; os arames ou fios possuem diâmetro menor. O arame é usado para a construção mecânica. O fio é usado em aplicações elétricas.

Esses produtos apresentam os seguintes defeitos típicos:

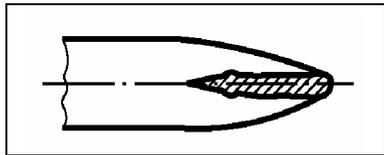
**Diâmetro escalonado**, causado por partículas duras retidas na feira e que se desprendem depois.



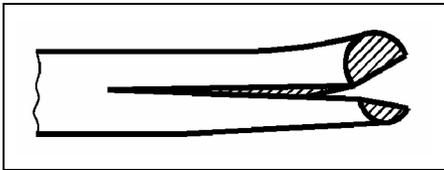
**Fratura irregular com estrangulamento**, causada por esforço excessivo devido à lubrificação deficiente, excesso de espiras no anel tirante, anel tirante rugoso, anel tirante com diâmetro incorreto, redução excessiva.



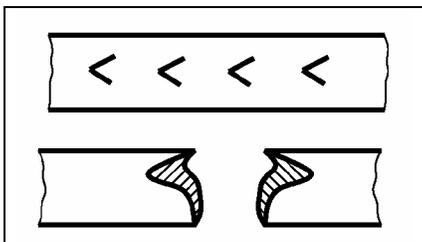
**Fratura com risco lateral** ao redor da marca de inclusão, causada por partícula dura incluída no fio inicial proveniente da laminação ou extrusão.



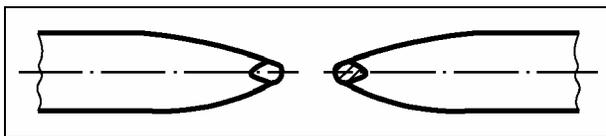
**Fratura com trinca** aberta em duas partes, causada por trincas de laminação.



**Marcas em forma de V ou fratura em ângulo**, causadas por redução grande e parte cilíndrica pequena, com inclinação do fio na saída; ruptura de parte da feira com inclusão de partículas no contato fio-feira; inclusão de partículas duras estranhas.



**Ruptura taça-cone**, causada por redução pequena e ângulo de feira muito grande, com acentuada deformação da parte central.



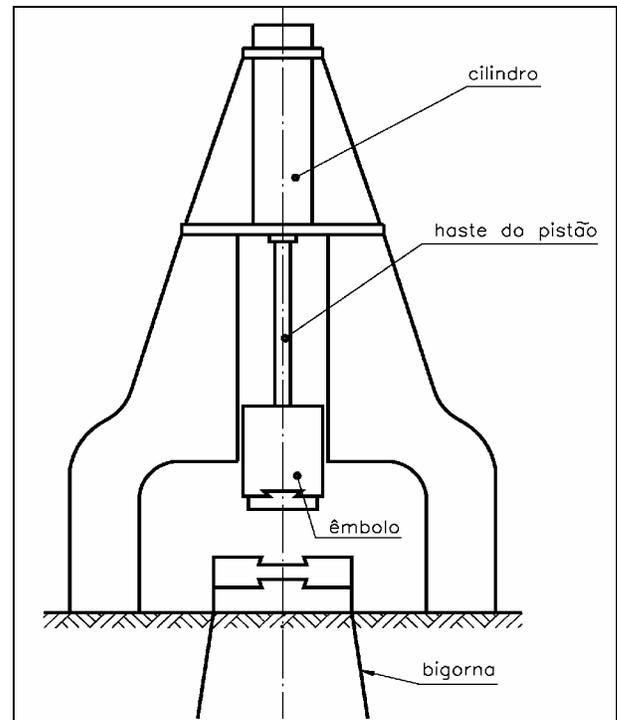
Aqui terminamos o estudo de mais dois processos de conformação mecânica. Há muito mais do que isso a ser apreendido. Por isso, não deixe a peteca cair! Para saber mais consulte a nossa bibliografia no final deste livro.

## Forjamento

O **forjamento**, um processo de conformação mecânica em que o material é deformado por martelamento ou prensagem, é empregado para a fabricação de produtos acabados ou semi-acabados de alta resistência mecânica, destinados a sofrer grandes esforços e solicitações em sua utilização.

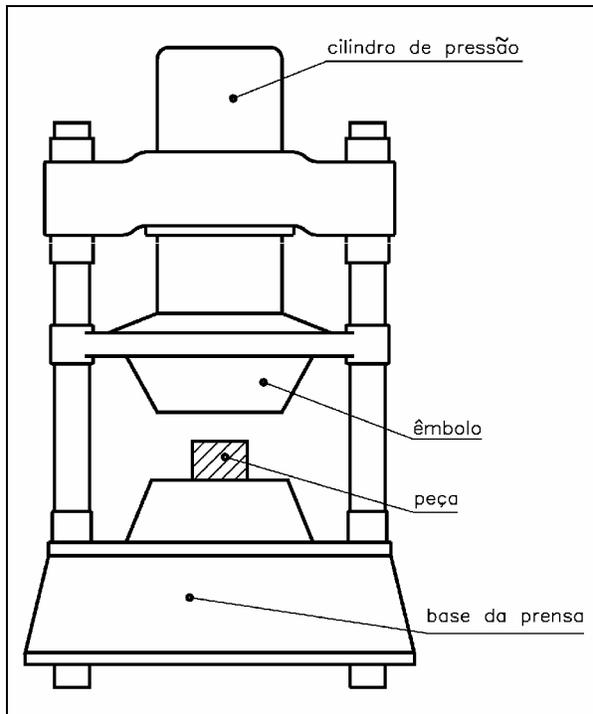
Embora, hoje em dia, o forjamento seja feito por meio de equipamentos, o princípio do processo continua o mesmo: aplicação individual e intermitente de pressão, quer dizer, o velho martelamento, ou então, a prensagem.

O **forjamento por martelamento** é feito aplicando-se golpes rápidos e sucessivos no metal. Desse modo, a pressão máxima acontece quando o martelo toca o metal, decrescendo rapidamente de intensidade à medida que a energia do golpe é absorvida na deformação do material. O resultado é que o martelamento produz deformação principalmente nas camadas superficiais da peça, o que dá uma deformação irregular nas fibras do material. Pontas de eixo, virabrequins, discos de turbinas são exemplos de produtos forjados fabricados por martelamento.



No forjamento por martelamento são usados martelos de forja que aplicam golpes rápidos e sucessivos ao metal por meio de uma massa de 200 a 3.000 kg que cai livremente ou é impulsionada de uma certa altura que varia entre 1 e 3,5 m.

Na **prensagem**, o metal fica sujeito à ação da força de compressão em baixa velocidade e a pressão atinge seu valor máximo pouco antes de ser retirada, de modo que as camadas mais profundas da estrutura do material são atingidas no processo de conformação. A deformação resultante é, então, mais regular do que a produzida pela ação dinâmica do martelamento. Palhetas de turbinas e forjados de liga leve são produtos fabricados por prensagem.



O forjamento por prensagem é realizado por prensas mecânicas ou hidráulicas. As prensas mecânicas, de curso limitado, são acionadas por eixos excêntricos e podem aplicar cargas entre 100 e 8.000 toneladas. As prensas hidráulicas podem ter um grande curso e são acionadas por pistões hidráulicos. Sua capacidade de aplicação de carga fica entre 300 e 50.000 toneladas. Elas são bem mais caras que as prensas mecânicas.

As operações de forjamento são realizadas a quente, em temperaturas superiores às de recristalização do metal. É importante que a peça seja aquecida uniformemente e em temperatura adequada. Esse aquecimento é feito em fornos de tamanhos e formatos variados, relacionados ao tipo de metal usado e de peças a serem produzidas e vão desde os fornos de câmara simples até os fornos com controle específico de atmosfera e temperatura. Alguns metais não-ferrosos podem ser forjados a frio.

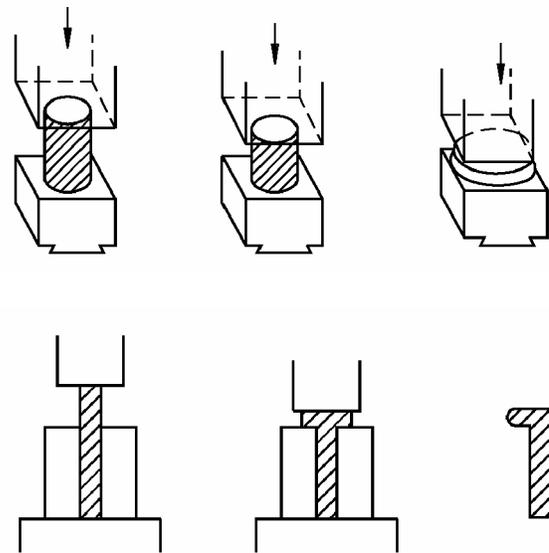
**Matriz aberta ou fechada?**

Toda a operação de forjamento precisa de uma matriz. É ela que ajuda a fornecer o formato final da peça forjada. E ajuda também a classificar os processos de forjamento, que podem ser:

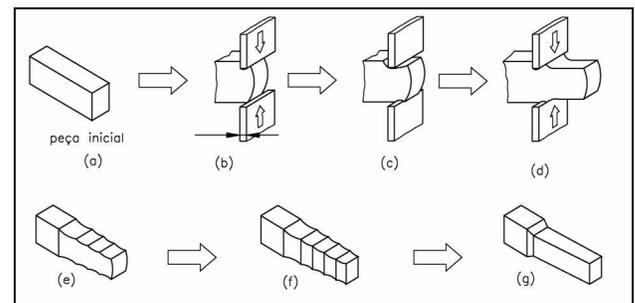
- forjamento em matrizes abertas, ou forjamento livre;
- forjamento em matrizes fechadas.

As matrizes de forjamento são submetidas a altas tensões de compressão, altas solicitações térmicas e, ainda, a choques mecânicos. Devido a essas condições de trabalho, é necessário que essas matrizes apresentem alta dureza, elevada tenacidade, resistência à fadiga, alta resistência mecânica a quente e alta resistência ao desgaste. Por isso, elas são feitas, em sua maioria, de blocos de aços-liga forjados e tratadas termicamente. Quando as solicitações são ainda maiores, as matrizes são fabricadas com metal duro.

No forjamento livre, as matrizes têm geometria ou formatos bastante simples. Esse tipo de forjamento é usado quando o número de peças que se deseja produzir é pequeno e seu tamanho é grande. É o caso de eixos de navios, turbinas, virabrequins e anéis de grande porte.

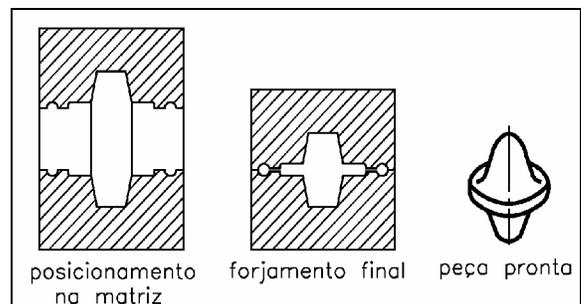


A operação de forjamento livre é realizada em várias etapas. Como exemplo, a ilustração mostra o estiramento de uma parte de uma barra. Observe a peça inicial (a) e o resultado final (e). A operação é iniciada com uma matriz de pequena largura. O estiramento acontece por meio de golpes sucessivos e avanços da barra (b, c, d, e). A barra é girada 90° e o processo repetido (f). Para obter o acabamento mostrado em g, as matrizes são trocadas por outras de maior largura.

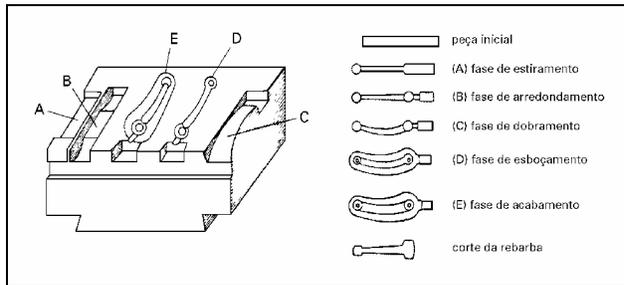


No forjamento em matrizes fechadas, o metal adquire o formato da cavidade esculpida na matriz e, por causa disso, há forte restrição ao escoamento do material para as laterais.

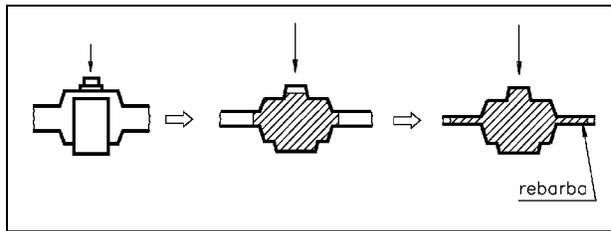
Essa matriz é construída em duas metades: a metade de baixo fica presa à bigorna e nela é colocado o metal aquecido. A outra metade está presa ao martelo (ou à parte superior da prensa) que cai sobre a metade inferior, fazendo o material escoar e preencher a cavidade da matriz.



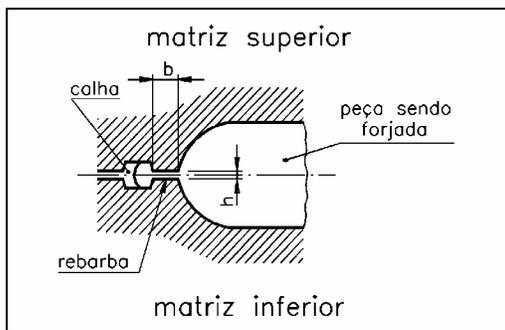
Uma peça forjada acabada geralmente não é conformada em um só golpe, porque tanto a direção quanto a extensão na qual o metal pode escoar são pequenas. Por isso, para a confecção de uma única peça são necessárias várias matrizes com cavidades correspondentes aos formatos intermediários que o produto vai adquirindo durante o processo de fabricação.



A matriz apresenta uma cavidade extra em sua periferia e que tem o objetivo de conter o excesso de material necessário para garantir o total preenchimento da matriz durante o forjamento. Esse excesso de material chama-se rebarba e deve ser retirado da peça em uma operação posterior de corte.



A rebarba é um dos problemas do forjamento por matriz fechada. Para minimizá-lo, as matrizes apresentam calhas para evitar que a rebarba seja muito grande.



Para peças não muito complexas, são aplicadas as seguintes etapas no forjamento em matriz fechada:

1. Corte do blank, ou seja, do pedaço de metal em barra no tamanho necessário.
2. Aquecimento - realizado em fornos.
3. Forjamento intermediário, realizado somente quando é difícil a conformação em uma única etapa.
4. Forjamento final - feito em matriz, já com as dimensões finais da peça.
5. Tratamento térmico - para a remoção das tensões, homogeneização da estrutura, melhoria da usinabilidade e das propriedades mecânicas.

### Defeitos dos produtos forjados

Os produtos forjados também apresentam defeitos típicos. Eles são:

- Falta de redução - caracteriza-se pela penetração incompleta do metal na cavidade da ferramenta. Isso altera o formato da peça e acontece quando são usados golpes rápidos e leves do martelo.

- Trincas superficiais - causadas por trabalho excessivo na periferia da peça em temperatura baixa, ou por alguma fragilidade a quente.
- Trincas nas rebarbas - causadas pela presença de impurezas nos metais ou porque as rebarbas são pequenas. Elas se iniciam nas rebarbas e podem penetrar na peça durante a operação de rebarbação.
- Trincas internas - originam-se no interior da peça, como consequência de tensões originadas por grandes deformações.
- Gotas frias - são descontinuidades originadas pela dobra de superfícies, sem a ocorrência de soldagem. Elas são causadas por fluxos anormais de material quente dentro das matrizes, incrustações de rebarbas, colocação inadequada do material na matriz.
- Incrustações de óxidos - causadas pela camada de óxidos que se formam durante o aquecimento. Essas incrustações normalmente se desprendem mas, ocasionalmente, podem ficar presas nas peças.
- Descarbonetação - caracteriza-se pela perda de carbono na superfície do aço, causada pelo aquecimento do metal.
- Queima - gases oxidantes penetram nos limites dos contornos dos grãos, formando películas de óxidos. Ela é causada pelo aquecimento próximo ao ponto de fusão.

O que você estudou nesta lição é só um começo bem básico. Um profissional do século XXI não se contenta com pouco. Por isso, se você quiser saber mais, vá a uma biblioteca e pesquise um pouco mais. Vai valer a pena!

## Estampagem

Estampagem é um processo de conformação mecânica, geralmente realizado a frio, que engloba um conjunto de operações. Por meio dessas operações, a chapa plana é submetida a transformações que a fazem adquirir uma nova forma geométrica, plana ou oca. Isso só é possível por causa de uma propriedade mecânica que os metais têm: a plasticidade.

As operações básicas de estampagem são:

- corte
- dobramento
- estampagem profunda (ou "repuxo")

Assim como nem todo material pode ser laminado, nem todo material pode passar pelas operações de estampagem. As chapas metálicas de uso mais comum na estampagem são as feitas com as ligas de aço de baixo carbono, os aços inoxidáveis, as ligas alumínio-manganês, alumínio-magnésio e o latão 70-30, que tem um dos melhores índices de estampabilidade entre os materiais metálicos.

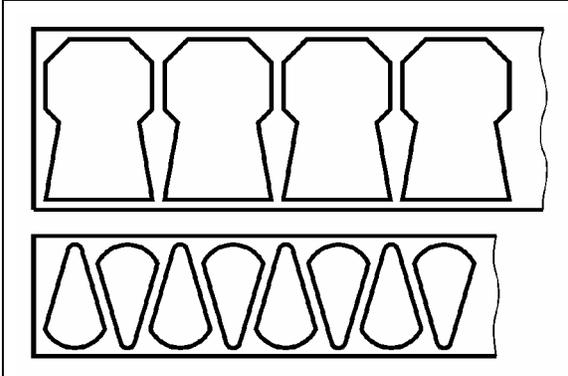
O **latão 70-30** é uma liga com 70% de cobre e 30% de zinco.

Além do material, outro fator que se deve considerar nesse processo é a qualidade da chapa. Os itens que ajudam na avaliação da qualidade são: a composição química, as propriedades mecânicas, as especificações dimensionais, e acabamento e aparência da superfície.

A composição química deve ser controlada no processo de fabricação do metal. A segregação de elementos químicos, por exemplo, que pode estar presente no lingote que deu origem à chapa, causa o comportamento irregular do material durante a estampagem.

As propriedades mecânicas, como dureza e resistência à tração, são importantíssimas na estampagem. Elas são determinadas por meio de ensaios mecânicos que nada mais são do que testes feitos com equipamentos especiais. Esses dados, juntamente com dados sobre a composição química, geralmente são fornecidos nas especificações dos materiais, presentes nos catálogos dos fabricantes das chapas e padronizados através de normas.

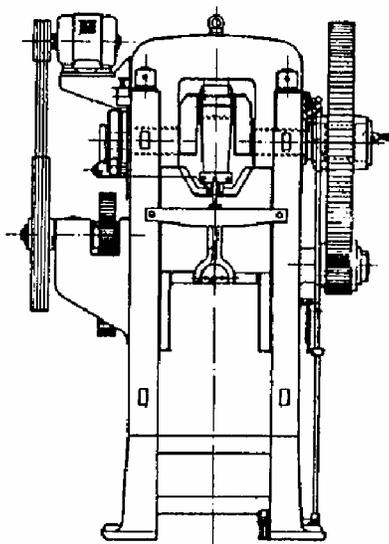
As especificações das dimensões ajudam no melhor aproveitamento possível do material, quando é necessário cortá-lo para a fabricação da peça. Uma chapa fora dos padrões de dimensão impede seu bom aproveitamento em termos de distribuição e quantidade das peças a serem cortadas. O ideal é obter a menor quantidade possível de sobras e retalhos que não podem ser aproveitados. Esse aproveitamento ideal envolve também o estudo da distribuição das peças na chapa.



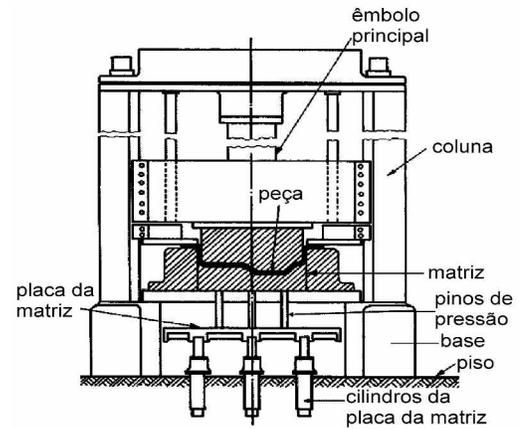
Os defeitos de superfície prejudicam não só a qualidade da peça estampada, como também influenciam na acabamento quando o produto deve receber pintura ou algum tipo de revestimento como a cromação, por exemplo. Por isso, esse é um fator que também deve ser controlado.

As operações de estampagem são realizadas por meio de prensas que podem ser mecânicas ou hidráulicas, dotadas ou não de dispositivos de alimentação automática das chapas, tiras cortadas, ou bobinas.

A seleção de uma prensa depende do formato, tamanho e quantidade de peças a serem produzidas e, conseqüentemente, do tipo de ferramental que será usado. Normalmente, as prensas mecânicas são usadas nas operações de corte, dobramento e estampagem rasa. As prensas hidráulicas são mais usadas na estampagem profunda.



prensa mecânica



prensa hidráulica

Na estampagem, além das prensas, são usadas ferramentas especiais chamadas **estampos** que se constituem basicamente de um punção (ou macho) e uma matriz. Essas ferramentas são classificadas de acordo com o tipo de operação a ser executada. Assim, temos:

- ferramentas para corte
- ferramentas para dobramento
- ferramentas para estampagem profunda

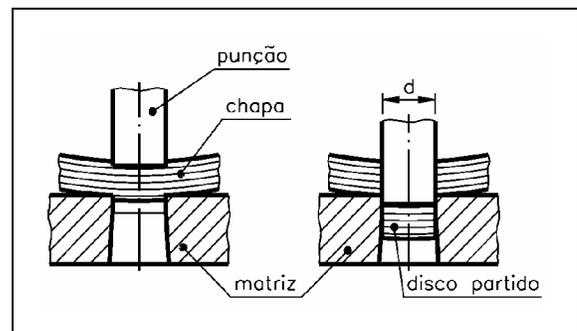
Na prensa, o punção geralmente é preso na parte superior que executa os movimentos verticais de subida e descida. A matriz é presa na parte inferior constituída por uma mesa fixa.

Esse ferramental deve ser resistente ao desgaste, ao choque e à deformação, ter usinabilidade e grande dureza. De acordo com a quantidade de peças e o material a serem estampados, os estampos são fabricados com aços ligados, chamados de aços para ferramentas e matrizes.

O fio de corte da ferramenta é muito importante e seu desgaste, com o uso, provoca rebarbas e contornos pouco definidos das peças cortadas. A capacidade de corte de uma ferramenta pode ser recuperada por meio de retificação para obter a afiação.

### Corte de chapas

O corte é a operação de cisalhamento de um material na qual uma ferramenta ou **punção de corte** é forçada contra uma **matriz** por intermédio da pressão exercida por uma prensa. Quando o punção desce, empurra o material para dentro da abertura da matriz.



### Dica tecnológica

Em princípio, a espessura da chapa a ser cortada deve ser **igual** ou **menor** que o diâmetro do punção.

As peças obtidas por corte, podem, eventualmente, ser submetidas a uma operação posterior de estampagem profunda, que será estudada mais adiante nesta aula.

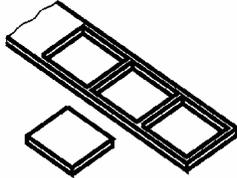
O corte permite a produção de peças nos mais variados formatos. Estes são determinados pelos formatos do punção e da matriz. A folga entre um e outra é muito importante e deve ser controlada, já que o aspecto final da peça depende desse fator. Ela está relacionada também com a espessura, a dureza e o tipo de material da chapa.

Para o aço, a folga é de 5 a 8% da espessura da chapa; para o latão, ela fica entre 4 e 8%; para o cobre, entre 6 e 10%; para o alumínio, em torno de 3% e para o duralumínio, entre 7 e 8%.

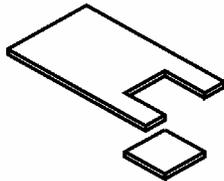
Folgas muito grandes provocam rebarbas que podem ferir os operadores. As folgas pequenas provocam fissuras, ou seja, rachaduras, que causarão problemas nas operações posteriores. Quanto menores forem as espessuras das chapas e o diâmetro do punção, menor será a folga e vice-versa.

Dependendo da complexidade do perfil a ser cortado, o corte pode ser feito em uma única etapa ou em várias etapas até chegar ao perfil final. Isso determina também os vários tipos de corte que podem ser executados:

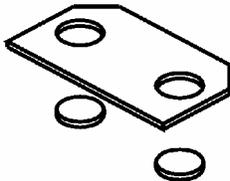
**Corte (simples):** Produção de uma peça de um formato qualquer a partir de uma chapa.



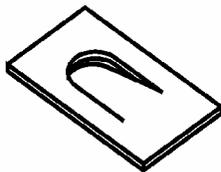
**Entalhe:** Corte de um entalhe no contorno da peça.



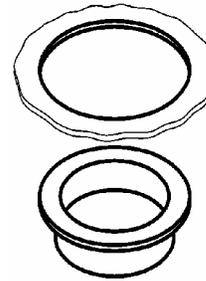
**Puncionamento:** corte que produz furos de pequenas dimensões.



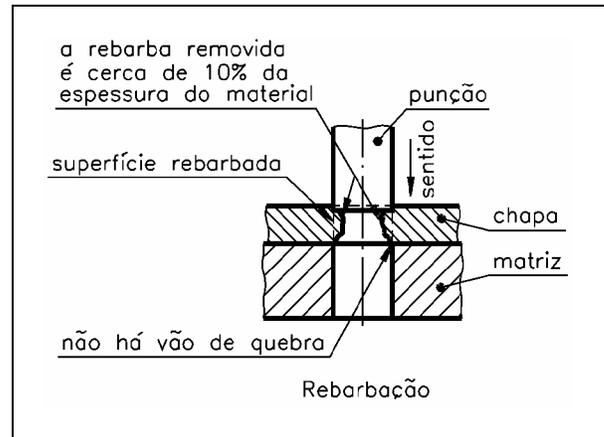
**Corte parcial** corte incompleto no qual uma parte da peça cortada fica presa à chapa.



**Recorte:** Corte de excedentes de material de uma peça que já passou por um processo de conformação.

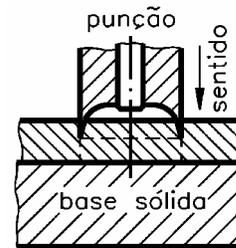


Um corte, por mais perfeito que seja, sempre apresenta uma superfície de aparência "rasgada". Por isso, é necessário fazer a **rebarbação**, que melhora o acabamento das paredes do corte.



**Fique por dentro**

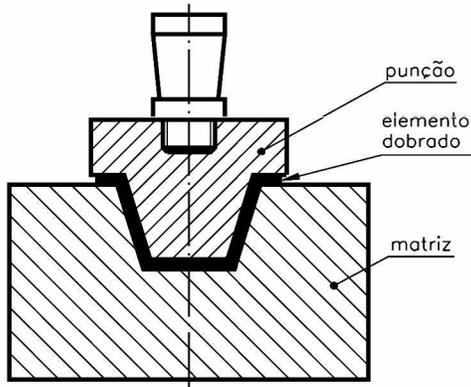
Pode-se cortar papel, borracha e outros materiais não-metálicos com um punção de ângulo vivo. Nesse caso, o material fica apoiado sobre uma base sólida de madeira ou outro material mole.



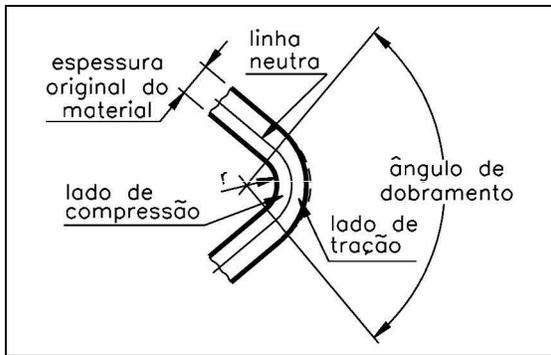
Corte com punção de ângulo vivo

**Dobramento e curvamento**

O dobramento é a operação pela qual a peça anteriormente recortada é conformada com o auxílio de **estampos de dobramento**. Estes são formados por um punção e uma matriz normalmente montados em uma prensa. O material, em forma de chapa, barra, tubo ou vareta, é colocado entre o punção e a matriz. Na prensagem, uma parte é forçada contra a outra e com isso se obtém o perfil desejado.



Em toda e qualquer operação de dobramento, o material sofre deformações além do seu limite elástico. No lado externo há um esforço de tração, o metal se alonga e há uma redução de espessura. No lado interno, o esforço é de compressão.



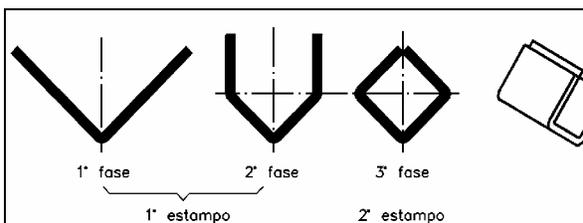
Por causa da elasticidade do material, sempre há um pequeno retorno para um ângulo ligeiramente menor que o inicial, embora a chapa tenha sido dobrada além de seu limite elástico. Por causa disso, quando se constrói o estampo, o cálculo do ângulo de dobramento deve considerar esse retorno e prever um dobramento em um ângulo levemente superior ao desejado.

**Dica tecnológica**

Existe uma região interna do material que não sofre nenhum efeito dos esforços de tração e compressão aos quais a chapa é submetida durante o dobramento. Essa região é chamada de **linha neutra**.

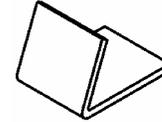
Outro fator a considerar é a existência dos raios de curvatura. Cantos vivos ou raios pequenos podem provocar a ruptura durante o dobramento. Em geral, a determinação do raio de curvatura é função do projeto ou desenho da peça, do tipo de material usado, da espessura da peça e do sentido da laminação da chapa. Materiais mais dúcteis como o alumínio, o cobre, o latão e o aço com baixo teor de carbono necessitam de raios menores do que materiais mais duros como os aços de médio e alto teores de carbono, aços ligados etc.

Até atingir o formato final, o produto pode ser dobrado com o auxílio de apenas um estampo em uma única ou em mais fases ou, então, com mais de um estampo.

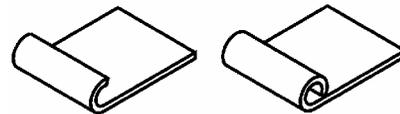


E para obter os variados formatos que o dobramento proporciona, realizam-se as seguintes operações:

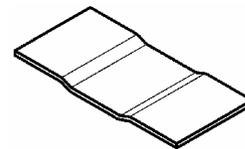
Dobramento simples e duplo.



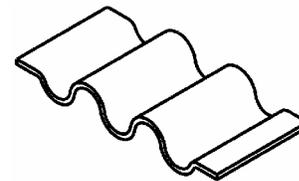
Dobramento em anel (aberto ou fechado).



Nervuramento



Corrugamento

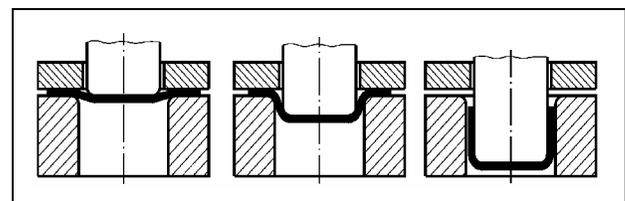


**Estampagem profunda**

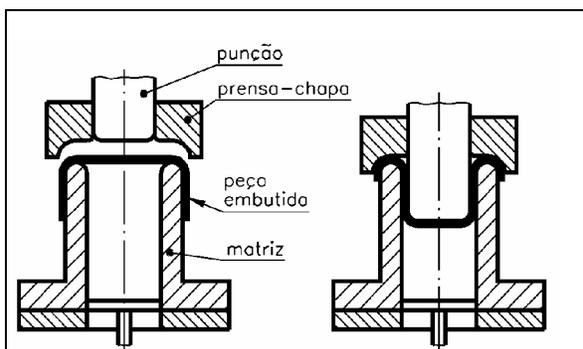
A estampagem profunda é um processo de conformação mecânica em que chapas planas são conformadas no formato de um copo. Ela é realizada a frio e, dependendo da característica do produto, em uma ou mais fases de conformação. Por esse processo, produzem-se painéis, partes das laterais de carros como pára-lamas, capôs, portas, e peças como cartuchos e refletores parabólicos.

Na estampagem profunda, a chapa metálica sofre alongamento em ao menos uma direção e compressão em outra direção. Geralmente, um compensa o outro e não há mudança na espessura da chapa.

Assim como no dobramento, a estampagem profunda também é realizada com o auxílio de estampas formadas por um punção, uma matriz e um sujeitador presos a prensas mecânicas ou hidráulicas. A chapa, já cortada nas dimensões determinadas, é presa entre a matriz e o sujeitador que mantém sobre ela uma pressão constante durante o embutimento. Isso evita que ocorra o enrugamento da superfície da peça. O punção é acionado, desce e força a chapa para baixo, através da matriz. Nessa operação, também é necessário um controle sobre a folga entre o punção e a matriz.



Quando a profundidade do embutimento é grande, ou seja, tem a altura maior que o diâmetro da peça, e são necessárias várias operações sucessivas para obtê-la, tem-se a reestampagem. Isso pode ser feito com o mesmo punção, ou com punções diferentes quando o perfil da peça deve ser alterado numa segunda ou terceira estampagem.



A ferramenta deve ter uma superfície lisa e bem acabada para minimizar o atrito entre matriz-chapa-punção e, desse modo, diminuir o esforço de compressão e o desgaste da ferramenta. Para diminuir o atrito pode-se usar também um lubrificante.

#### Características e defeitos dos produtos estampados

Os produtos estampados apresentam defeitos característicos estreitamente ligados às várias etapas do processo de fabricação. O quadro a seguir relaciona esses defeitos com a respectiva etapa dentro do processo e indica as maneiras de evitá-los.

Etapa do processo	Defeito	Causa	Correção
Chapa	Pregas, ou gretas, transversais ao corpo da peça	Inclusões na chapa. Trepadura de laminação.	Usar chapas com controle de qualidade de mais rigoroso.
Chapa	Furos alongados ou gretas.	Poros finos ou corpos estranhos duros (como grãos de areia) que penetram na chapa no momento da estampagem.	Limpar cuidadosamente os locais de armazenamento das chapas.
Chapa	Diferenças de espessura na chapa.	Aba de largura irregular, formação de gretas entre as regiões de diferentes espessuras.	Exigir produtos laminados com tolerâncias dimensionais estreitas.
Projeto ou construção da matriz.	Desprendimento do fundo.	O punção de embutir atua como punção de corte, o raio de curvatura é muito pequeno no punção e na aresta embutida.	Arredondar melhor as arestas no punção de embutir e na matriz.
Projeto ou construção da matriz.	Ruptura no fundo.	O fundo embutido é unido ao resto da peça apenas por um lado; a relação de embutimento é grande demais para a chapa empregada.	Introduzir mais uma etapa de embutimento ou escolher uma chapa de maior capacidade de embutimento.
Projeto ou ferramentaria	Trincas no fundo depois que o corpo está quase todo pronto (mais freqüentemente em peças retangulares).	Variação de espessura na chapa ou folga muito estreita entre punção e matriz. Em peças retangulares, o estreitamento da folga é devido à formação de uma pasta de óxidos.	Revisar espessura da chapa. Alargar o orifício de embutimento. Em peças retangulares, limpar sempre as arestas das ferramentas.
Projeto ou ferramentaria.	Formato abaulado - corpo arqueado para fora e arqueamento do canto superior do recipiente.	Folga muito larga de embutimento.	Aumentar a pressão de sujeição. Trocar a matriz ou o punção.
Ferramentaria, conservação.	Estrias de embutimento.	Desgaste da ferramenta e chapa oxidada.	Fazer tratamento de superfície para endurecer as arestas da matriz. Melhorar o processo de decapagem. Melhorar as condições de lubrificação.
Conservação, ferramentaria.	Pregas e trincas na aba.	Folga de embutimento muito larga, ou arredondamento muito grande das arestas de embutimento.	Trocar a matriz.
Conservação, ferramentaria.	Ampolas no fundo. Às vezes abaulamento no fundo.	Má aeração.	Melhorar a saída do ar, distribuindo melhor o lubrificante.
Conservação, ferramentaria.	Relevos de um só lado nas rupturas do fundo.	Posição excêntrica do punção em relação à matriz de embutimento.	Soltar a sujeição da ferramenta e centrar a matriz corretamente com relação ao punção.
Conservação, ferramentaria.	Formação de pregas na aba.	Pressão de sujeição insuficiente.	Aumentar a pressão do sujeitador.

## União Por Solda

### O que é soldagem?

Na verdade, existem muitas definições de soldagem. Poderíamos apresentar várias delas aqui, mas os autores sempre acabam discordando entre si em um ponto ou outro. Por isso, escolhemos apenas uma: aquela que achamos a mais abrangente (ou ampla) de todas.

É a definição da Associação Americana de Soldagem (American Welding Society - AWS), segundo a qual, **soldagem** é o "processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição" (in **Tecnologia da soldagem** de Paulo Villani Marques, pág 352).

Está difícil? Vamos explicar. Com a soldagem, você pode unir dois pedaços de material, usando calor com ou sem pressão. Nesse processo, você pode (ou não) ter a ajuda de um terceiro material, que vai funcionar como uma espécie de "cola", que chamamos o material de adição. Fácil, não?

"Que vantagem! Eu posso unir dois materiais parafusando, rebitando, colando!" Se você está pensando assim, tem até razão. Em parte... Esses métodos realmente servem para unir materiais. Porém, a grande "sacada" da soldagem é a possibilidade de obter uma união em que os materiais têm uma continuidade não só na aparência externa, mas também nas suas características e propriedades mecânicas e químicas, relacionadas à sua estrutura interna.

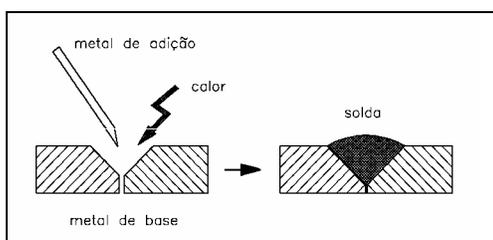
Embora se possa empregar técnicas de soldagem para vidro e plástico, por exemplo, vamos manter nossa atenção voltada para os processos de soldagem das ligas metálicas, já que o foco de nosso estudo consiste nos processos de fabricação para a indústria metal-mecânica. E porque lidamos com metais, é necessário lembrar que há condições imprescindíveis para se obter uma solda: **calor** e/ou **pressão**.

O calor é necessário porque grande parte dos processos de soldagem envolve a  **fusão** dos materiais, ou do material de adição, no local da solda. Mesmo quando se usa **pressão** e, às vezes, o ponto de fusão não é atingido, o aquecimento facilita a plasticidade do metal e favorece a ação da pressão para a união dos metais.

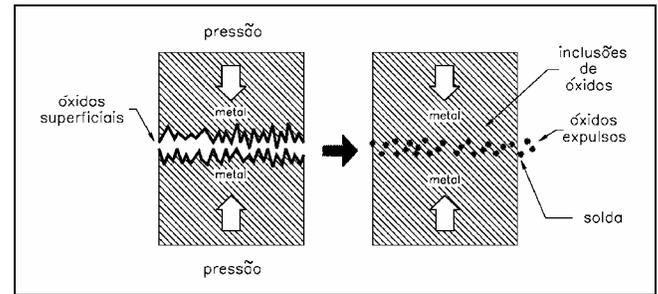
O primeiro processo de soldagem por fusão com aplicação prática foi patenteado nos Estados Unidos em 1885. Ele utilizava o calor gerado por um arco estabelecido entre um eletrodo de carvão e a peça. O calor do arco fundia o metal no local da junta e quando o arco era retirado, o calor fluía para as zonas adjacentes e provocava a solidificação do banho de fusão.

Uma nova e significativa evolução aconteceu nesse processo alguns anos mais tarde, quando o eletrodo de carvão foi substituído por um eletrodo metálico. O processo de aquecimento passou, então, a ser acompanhado da deposição do metal fundido do eletrodo metálico na peça.

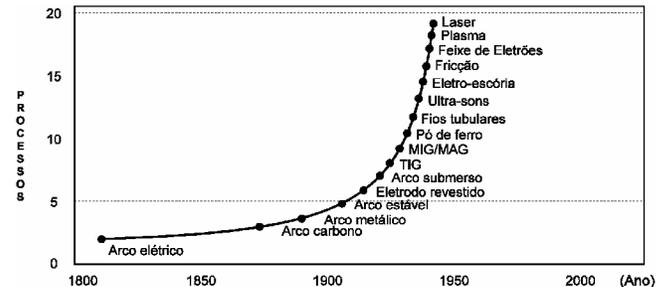
A utilização do oxigênio e de um gás combustível permitiu a obtenção de chama de elevada temperatura que permitiu a fusão localizada de determinados metais e a formação de um banho de fusão que, ao solidificar, forma a "ponte" entre as peças a serem unidas. A soldagem por fusão inclui a maioria dos processos mais versáteis usados atualmente. Veja representação esquemática desse processo na ilustração ao lado.



Outros processos se baseiam na aplicação de pressões elevadas na região a ser soldada. O aquecimento das peças a serem unidas facilita a ligação entre as partes.



A evolução desses processos está ilustrada a seguir.



Adaptado de: Processos de Soldadura por J. F. Oliveira Santos, Lisboa, Edições Técnicas do Instituto de Soldadura e Qualidade, 1993

Hoje a soldagem é o método mais importante para a união permanente de metais. Neste módulo, você vai estudar **os princípios básicos** de alguns dos processos. O aprofundamento desse conhecimento vai depender do seu grau de interesse. Se você quiser saber mais, é só consultar a bibliografia que está no final deste livro.

**Solução sólida** é a mistura completa dos átomos de dois metais, ou de um metal e um não-metal, que acontece quando os metais estão no estado líquido e continua a existir quando eles se solidificam.

### Soldabilidade

Para obter a solda, não basta apenas colocar duas peças metálicas próximas, aplicar calor com ou sem pressão. Para que a soldagem realmente se realize, os metais a serem unidos devem ter uma propriedade imprescindível: a  **soldabilidade**.

Soldabilidade é a facilidade que os materiais têm de se unirem por meio de soldagem e de formarem uma série contínua de soluções sólidas coesas, mantendo as propriedades mecânicas dos materiais originais.

O principal fator que afeta a soldabilidade dos materiais é a sua composição química. Outro fator importante é a capacidade de formar a série contínua de soluções sólidas entre um metal e outro. Assim, devemos saber como as diferentes ligas metálicas se comportam diante dos diversos processos de soldagem.

É preciso saber que, em se tratando de soldagem, cada tipo de material exige maior ou menor cuidado para que se obtenha uma solda de boa qualidade.

Se o material a ser soldado exigir muitos cuidados, tais como controle de temperatura de aquecimento e de interpasse, ou tratamento térmico após soldagem, por exemplo, dizemos que o material tem baixa soldabilidade.

Por outro lado, se o material exigir poucos cuidados, dizemos que o material tem boa soldabilidade. O quadro a seguir resume o grau de soldabilidade de alguns dos materiais metálicos mais usados na indústria mecânica.

Materiais	Soldabilidade			
	Ótima	Boa	Regular	Difícil
Aço baixo carbono	X			
Aço médio carbono		X	X	
Aço alto carbono				X
Aço inox	X	X		
Aços-liga			X	
Ferro fundido cinzento			X	
Ferro fundido maleável e nodular			X	
Ferro fundido branco				X
Liga de alumínio		X		
Liga de cobre		X		

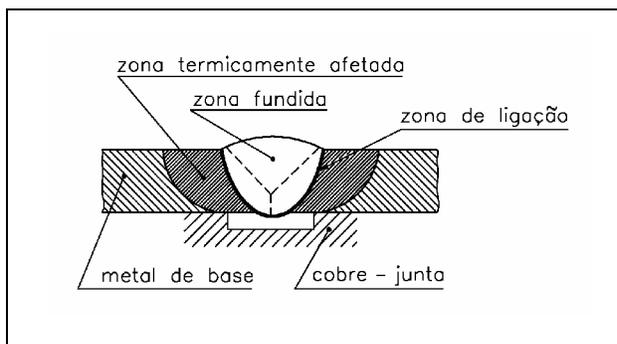
Como se vê, a soldabilidade mútua dos metais varia de um material metálico para outro, de modo que as juntas soldadas nem sempre apresentam as características mecânicas desejáveis para determinada aplicação.

### Metalurgia da solda

O simples fato de se usar calor nos processos de soldagem implica em alterações na microestrutura do material metálico. Na verdade, na maioria dos casos, a soldagem reproduz no local da solda os mesmos fenômenos que ocorrem durante um processo de fundição. Ou seja, do ponto de vista da estrutura metalográfica, o material apresenta características de metal fundido.

Por isso, não podemos nos esquecer de que, às vezes, o metal após sofrer aquecimento, tem suas características mecânicas afetadas. Assim, a junta soldada pode se tornar relativamente frágil. Na zona afetada termicamente, a estrutura do metal pode ser modificada pelo aquecimento e rápido resfriamento durante o processo de soldagem. A composição química fica, entretanto, praticamente inalterada.

Dependendo do processo de soldagem que se use, e da natureza dos metais que estão sendo soldados, teremos um maior ou menor tamanho da zona afetada termicamente. Por exemplo, na soldagem manual ao arco com eletrodos revestidos finos, a zona afetada termicamente é menor do que na soldagem a gás. É nessa zona que uma série de fenômenos metalúrgicos ocorrem.



Na região próxima à junta soldada, está a **zona de ligação**, na qual se observa uma transição entre a estrutura do metal fundido e a do metal de base.

Próximo a essa faixa, está a **zona afetada termicamente** na qual o metal é superaquecido de modo que haja um aumento do tamanho do grão e, portanto, uma alteração das propriedades do material. Essa faixa é normalmente a mais frágil da junta soldada.

À medida que aumenta a distância da zona fundida, praticamente não há diferenças na estrutura do material porque as temperaturas são menores.

### Segurança em primeiro lugar

Os principais riscos das operações de soldagem são: incêndios e explosões, queimaduras, choque elétrico, inalação de fumos e gases nocivos e radiação.

Do ponto de vista do soldador que utiliza o equipamento de soldagem, este deve proteger-se contra perigos das queimaduras provocadas por fagulhas, respingos de material fundido e partículas aquecidas. Deve se proteger, também, dos choques elétricos e das radiações de luz visível ou invisível (raios infravermelhos e ultravioleta) sempre presentes nos diversos processos de soldagem.

Assim, quando estiver operando um equipamento, ou seja, durante a soldagem, o operador deve proteger:

- as mãos, com luvas feitas com raspa de couro;
- o tronco, com um avental de raspa de couro, ou aluminizado;



- os braços e os ombros com mangas e ombreiras também feitas de raspa de couro;
- a cabeça e o pescoço, protegidos por uma touca;
- os pés e as pernas, com botinas de segurança providas de biqueira de aço e perneiras com polainas que, ao cobrir o peito dos pés, protegem contra fagulhas ou respingos que possam entrar pelas aberturas existentes nas botinas.
- dependendo do processo de soldagem, o rosto deve ser protegido com máscaras ou escudos de proteção facial dotados de lentes que filtram as radiações infravermelhas e ultravioleta, além de atenuar a intensidade luminosa. No processo oxiacetilênico, usam-se, para esse mesmo fim, óculos com lentes escuras ao invés de máscara;
- as vias respiratórias, com máscaras providas de filtros, toda a vez que se trabalhar em locais confinados ou com metais que geram vapores tóxicos como o chumbo e o mercúrio.

As roupas do soldador devem ser de tecido não inflamável, e devem estar sempre limpas, secas e isentas de graxa e óleo para evitar que peguem fogo com facilidade.

Além desses cuidados com a proteção individual, o operador deve ficar sempre atento para evitar acidentes que podem ocorrer no armazenamento, no uso e no manuseio do equipamento. Para isso, algumas precauções devem ser tomadas:

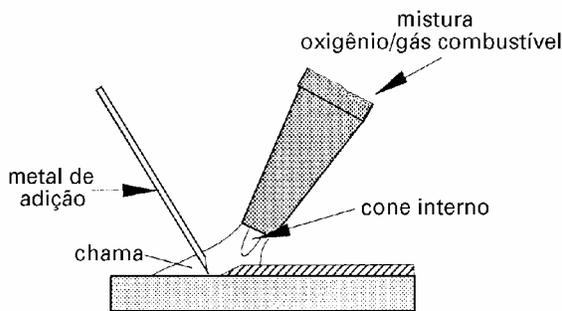
- Manter o local de trabalho sempre limpo.
- Retirar todo o material inflamável do local de trabalho antes de iniciar a soldagem.
- Manter o local de trabalho bem ventilado.
- Restringir o acesso de pessoas estranhas ao local da soldagem, isolando-o por meio de biombos.
- Usar sempre o equipamento de proteção individual.

Finalmente, deve-se também cuidar para que o trabalho do soldador não seja prejudicado pela fadiga. Além de aumentar a possibilidade de haver um acidente, a fadiga causa a baixa qualidade da solda e baixos níveis de produção. Para superar esse fator, as seguintes providências devem ser tomadas:

1. Posicionar a peça a ser soldada de modo que a soldagem seja executada na posição plana, sempre que possível.
2. Usar o menor tamanho possível de maçarico/tocha adequado à junta que se quer soldar.
3. Usar luvas leves e flexíveis.
4. Usar máscaras com lentes adequadas que propiciem boa visibilidade e proteção.
5. Garantir ventilação adequada.
6. Providenciar ajuda adicional para a realização de operações como limpeza e goivagem.
7. Colocar a mesas de trabalho e os gabaritos de modo que o soldador possa se sentar durante a soldagem.

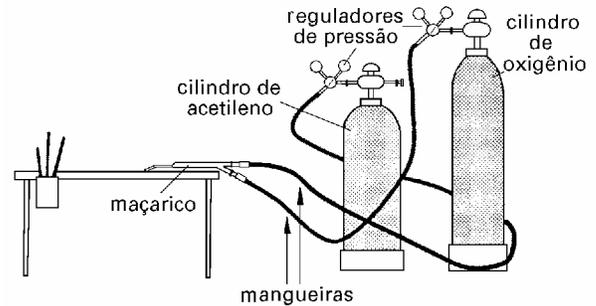
### Soldagem a gás

A soldagem a gás é um processo através do qual os metais são soldados por meio de aquecimento com uma chama de um gás combustível e oxigênio. Isso produz uma chama concentrada de alta temperatura que funde o metal-base e o metal de adição, se ele for usado.



Embora esse processo gere temperaturas elevadas, estas ainda são baixas se comparadas com as geradas pelo arco elétrico. Por causa disso, a velocidade de soldagem é baixa e, apesar da simplicidade e baixo custo, o uso em processos industriais da soldagem a gás é muito restrito. Assim, ela é usada apenas quando se exige um ótimo controle do calor fornecido e da temperatura das peças, como na soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro e, também, na deposição de revestimentos com propriedades especiais na superfície das peças. Seu maior uso se dá na soldagem de manutenção.

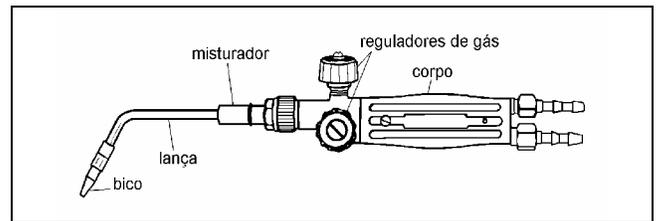
Para realizar a soldagem a gás, o equipamento básico necessário é composto por dois cilindros, um contendo oxigênio e outro contendo o gás combustível, dotados de reguladores de pressão, mangueiras para conduzir os gases até o maçarico.



### Fique por dentro

O equipamento usado para a soldagem a gás é de baixo custo e, com acessórios adequados, pode também ser usado em outras operações como: dobramento, desempenho, pré e pós-aquecimento, brasagem, solda-brasagem e corte a gás.

O principal item desse equipamento básico é o maçarico, no qual os gases são misturados e do qual eles saem para produzir a chama. Ele é composto basicamente de:



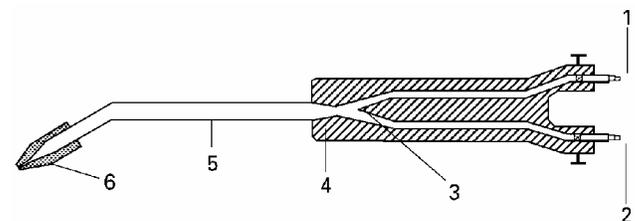
- corpo, no qual estão as entradas de gases e os reguladores da passagem dos gases;
- misturador, no qual os gases são misturados;
- lança, na qual a mistura de gases caminha em direção ao bico;
- bico, que é o orifício calibrado por onde sai a mistura dos gases.

Eles recebem o oxigênio e o gás combustível e fazem a mistura na proporção adequada à produção da chama desejada. A vazão de saída dos gases determina se a chama será forte, intermediária ou suave. Finalmente, a proporção dos gases determina se a chama será oxidante, neutra ou redutora, cuja importância você verá mais adiante.

Basicamente, existem dois tipos de maçaricos:

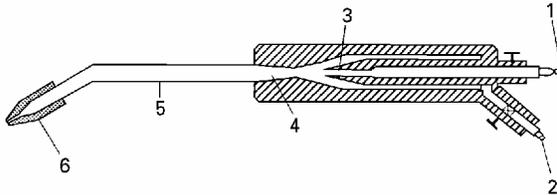
a) O maçarico de baixa pressão, do tipo injetor, que fornece uma mistura de gás e oxigênio sem variação de proporção;

1. Entrada de oxigênio
2. Entrada de gás
3. Injetor
4. Mistura entre os gases
5. Câmara de mistura
6. Bico



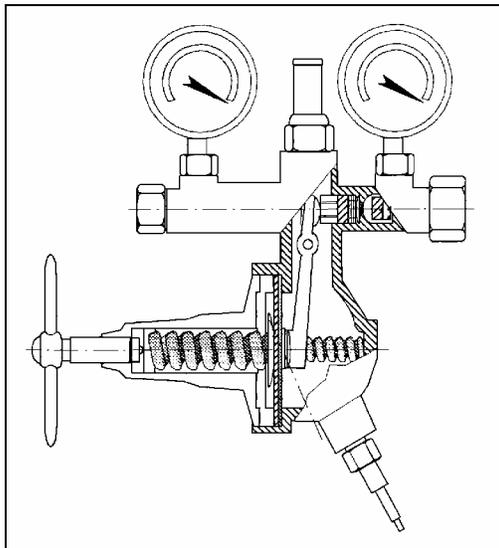
b) O maçarico **misturador** é usado com cilindros de gás de média pressão. Nele, os gases passam por válvulas que permitem controlar a proporção da mistura, e continuam através de tubos independentes até o ponto de encontro dos gases sem sofrer alterações significativas de volume e pressão.

1. Entrada de oxigênio
2. Entrada de gás
3. Ponto de encontro dos gases
4. Misturador de gases
5. Câmara de mistura
6. Bico



O **regulador de pressão** tem a função de controlar a pressão dos gases que saem dos cilindros de modo que ela diminua até atingir a pressão de trabalho. Ele pode ser de dois tipos: de um ou dois estágios. O desenho ao lado ilustra as partes componentes de um regulador de um estágio.

As mangueiras têm a função de conduzir os gases. Elas devem ser flexíveis e capazes de resistir à alta pressão e a uma temperatura moderada. Para facilitar a identificação, a mangueira para os gases combustíveis deve ser vermelha e ter rosca esquerda. A mangueira de oxigênio deve ser verde e ter rosca direita. Cada mangueira deve ser protegida por válvulas de segurança presentes no regulador de pressão e no maçarico.



### A hora e a vez do gás

Pois é. Já falamos tanta coisa sobre a soldagem a gás, mas não falamos do mais importante: o gás. E você que está sempre ligado, deve estar se perguntando: "Que raio de gás é esse?".

Para início de conversa, vamos lembrar que esse processo precisa de dois gases: o oxigênio e um gás combustível.

O oxigênio, que representa 21% da atmosfera que envolve a Terra, é usado puro no processo; tem a função de acelerar as reações e aumentar a temperatura da chama.

O gás combustível, por sua vez, precisa apresentar algumas características. Por exemplo: ele deve ter alta temperatura de chama, alta taxa de propagação de chama, alto potencial energético e mínima reação química com os metais de base e de adição. Gases como o hidrogênio, o propano, o metano, o gás natural e, principalmente, o acetileno apresentam essas características.

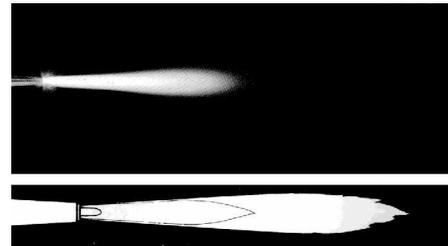
E de todos eles, o acetileno é o mais usado por causa da alta potência de sua chama e pela alta velocidade de inflamação. Em presença do oxigênio puro, sua temperatura pode atingir aproximadamente 3200°C, a maior dentre os gases que citamos acima. É um hidrocarboneto cuja fórmula é  $C_2H_2$ .

### Fique por dentro

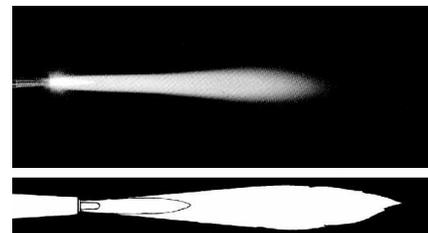
O acetileno é tão usado na soldagem a gás que muitas vezes o processo recebe o nome de **soldagem oxiacetilênica**.

Em função da quantidade de gás combustível e de oxigênio, o maçarico pode fornecer diferentes tipos de chama, aplicáveis à soldagem de diferentes tipos de metais. É a regulagem da chama que vai permitir o aparecimento de seus três tipos básicos:

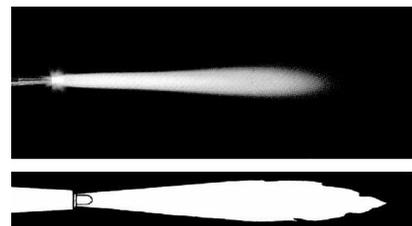
1. Chama **reductora** ou **carburente**: é obtida pela mistura de oxigênio e maior quantidade de acetileno. Esse tipo de chama é caracterizado pela cor amarela clara e luminosa e pela zona carburente presente no dardo da chama. É usada para a soldagem de ferro fundido, alumínio, chumbo e ligas de zinco.



2. Chama **neutra** ou **normal**: formada a partir da regulagem da chama reductora, é obtida pela mistura de uma parte de gás, uma de oxigênio do maçarico e 1,5 parte de oxigênio do ar, e se caracteriza por apresentar um dardo brilhante. Ela é usada para a soldagem de cobre e todos os tipos de aços.



3. Chama **oxidante**: é obtida a partir da chama neutra, diminuindo a quantidade de acetileno e aumentando a quantidade de oxigênio. É usada para a soldagem de aços galvanizados, latão e bronze.



## Nem só de gás vive a soldagem

Além dos gases, mais dois tipos de materiais são às vezes necessários para a realização da soldagem a gás: os **fluxos** e os **metais de adição**. Juntamente com o gás, esses materiais são chamados de **consumíveis**.

Para realizar soldagens de boa qualidade, é necessário que as peças metálicas tenham sua superfície livre da presença de óxidos. Como o oxigênio é parte integrante do processo de soldagem a gás e como a afinidade de certos metais com o oxigênio é instantânea, é quase impossível impedir a formação desses óxidos. Uma maneira de removê-los é por meio do uso dos fluxos.

Os fluxos são materiais em forma de pó ou pasta que se fundem e têm a função de reagir quimicamente com os óxidos metálicos que se formam no processo. Eles são usados na soldagem de aços inoxidáveis e de metais não-ferrosos como o alumínio e o cobre e suas ligas.

Os **metais de adição** são usados para preenchimento da junta e para melhorar as propriedades dos metais de base, quando necessário. Encontram-se no comércio sob a forma de varetas com comprimentos e diâmetros variados. São escolhidos em função da quantidade de metal a depositar, da espessura das peças a serem unidas e das propriedades mecânicas e/ou da composição química do metal de base.

## Etapas e técnicas da soldagem a gás

O processo de soldagem a gás apresenta as seguintes etapas:

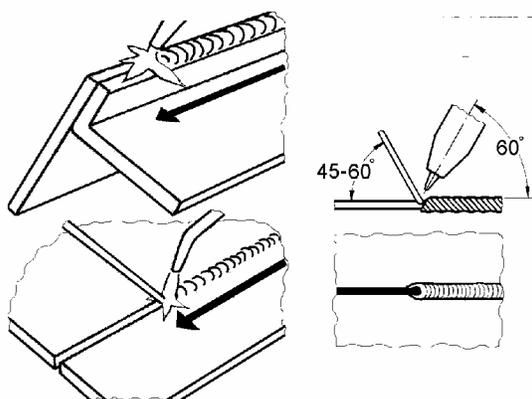
1. Abertura dos cilindros e regulagem das pressões de trabalho.
2. Acendimento e regulagem da chama.
3. Formação da **poça de fusão**.
4. Deslocamento da chama e realização do cordão de solda, com ou sem metal de adição.
5. Interrupção da solda.
6. Extinção da chama.

Dentro desse processo, duas técnicas de soldagem podem ser empregadas: a **soldagem à esquerda** e a **soldagem à direita**.

**Poça de fusão**, ou **banho de fusão**, é a região em que o material a ser soldado está em estado líquido.

A soldagem **à esquerda** ocorre quando a vareta do metal de adição precede o maçarico ao longo do cordão. Nesse caso, o metal de adição é depositado à frente da chama.

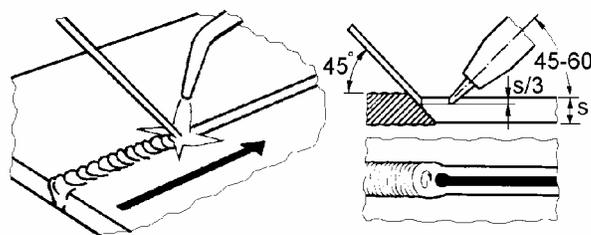
Na soldagem à esquerda, o ângulo entre o maçarico e a peça deve ficar em torno de  $60^\circ$ . O ângulo entre a vareta e a peça, por sua vez, deve ficar entre  $45^\circ$  e  $60^\circ$ .



Essa técnica é usada para a soldagem de peças com até 6 mm de espessura, e de metais não-ferrosos, porque o cordão de solda obtido é raso. Ela necessita geralmente que o soldador faça movi-

mentos rotativos ou em ziguezague de um lado para outro da chapa para obter uma fusão perfeita.

A soldagem **à direita** acontece quando a chama é dirigida para a poça de fusão e o metal de adição é depositado atrás da chama. O ângulo entre o maçarico e a chapa deve ficar entre  $45^\circ$  e  $60^\circ$  e o ângulo entre a vareta e a chapa é de aproximadamente  $45^\circ$ .



Nessa técnica, o maçarico se desloca em linha reta, enquanto a vareta de solda avança em movimentos de rotação no **banho de fusão**. Ela é empregada para a soldagem de materiais com espessura acima de 6 mm.

A soldagem à direita apresenta uma série de vantagens:

- maior facilidade de manuseio do maçarico e da vareta de solda;
- maior velocidade de soldagem;
- melhor visão do ponto de fusão e, conseqüentemente, melhor controle durante a soldagem;
- menores esforços de dilatação e contração;
- possibilidade de soldagem de ampla faixa de espessuras de materiais.

Uma soldagem realizada corretamente proporciona a fusão satisfatória em ambas as bordas da junta soldada e deve apresentar o seguinte aspecto:



Por outro lado, a aplicação errada das técnicas de soldagem, a escolha incorreta do metal de adição, o tamanho inadequado da chama podem gerar defeitos na soldagem. Por isso, é importante conhecer os tipos de defeitos, quais suas causas e como preveni-los ou corrigi-los. Veja quadro a seguir.

DEFEITO	CAUSA	CORREÇÃO
Falta de penetração	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chama muito fraca.</li> <li>2. Técnica inadequada de soldagem.</li> <li>3. Velocidade de soldagem muito alta.</li> <li>4. Uso de vareta de diâmetro muito grande.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regular a chama adequadamente, aumente a vazão dos gases ou troque a extensão do maçarico por uma maior, de acordo com a espessura da chapa a soldar. (consultar tabela do fabricante do maçarico).</li> <li>2. Utilizar ângulo correto de trabalho.</li> <li>3. Diminuir a velocidade de soldagem, mantendo-a de maneira que a largura do cordão fique com aproximadamente o dobro de diâmetro da vareta.</li> <li>4. Utilizar vareta de menor diâmetro</li> </ol>
Falta de fusão	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O Velocidade de soldagem muito alta.</li> <li>2. Distância incorreta entre o dardo da chama (cone brilhante) c/ a peça.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diminuir a velocidade de soldagem mantendo-a de maneira que a largura do cordão fique com aproximadamente o dobro do diâmetro da vareta.</li> <li>2. Manter o dardo da chama a uma distância de aproximadamente 3mm da peça.</li> </ol>
Mordedura da face	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chama muito fraca.</li> <li>2. Ângulo de trabalho errado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regular a chama adequadamente; aumentar a vazão dos gases ou trocar a extensão do maçarico por maior, de acordo com a espessura da chapa (consultar tabela do fabricante do maçarico).</li> <li>2. Utilizar ângulo correto de trabalho.</li> </ol>
Superfície irregular	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Técnica inadequada de deposição.</li> <li>2. Bico sujo.</li> <li>3. Diâmetro do bico inadequado.</li> <li>4. Regulagem inadequada da chama.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O Aprimorar a técnica de deposição.</li> <li>2. Limpar o bico.</li> <li>3. Utilizar o diâmetro do bico adequado à espessura da peça a soldar (consultar tabela do fabricante do maçarico).</li> <li>4. Regular a chama adequadamente de acordo com o material a ser soldado.</li> </ol>

### *Todo o cuidado é pouco!*

A soldagem pelo processo oxigás exige que o soldador se mantenha sempre atento para evitar acidentes. Estes podem acontecer durante o transporte dos cilindros, na armazenagem, no uso e manuseio dos cilindros e do próprio equipamento de soldagem.

Os cilindros são vasos de pressão bastante resistentes e pesados. Por isso, devido ao seu peso, pela pressão que contém e pelo próprio gás que armazenam, eles devem ser manuseados com bastante cuidado. Por exemplo:

- o transporte deve ser feito com carrinhos especiais, sempre na posição vertical e com o capacete de proteção das válvulas;

- a armazenagem deve ser em local ventilado, seco e protegido dos raios solares, com paredes resistentes ao fogo, no qual os cilindros cheios devem estar separados dos vazios, bem como os de oxigênio (cilindro preto) dos que contêm acetileno (cilindro bordô);
- os orifícios das válvulas devem ser mantidos limpos, sem vestígios de óleo ou graxa;
- usar uma válvula contra retrocesso (chamada de válvula seca corta-chama) no regulador de pressão de acetileno, a fim de impedir que o retorno da chama, o refluxo dos gases ou as ondas de pressão atinjam o regulador ou o cilindro;
- manusear os cilindros de gás com cuidado para que eles não sofram choques ou impactos mecânicos;
- nunca deixar a chama do maçarico próxima dos cilindros.

Além disso, outras providências podem ser tomadas durante o uso do equipamento:

- verificar se não há vazamento de gases nas mangueiras e conexões;
- nunca soldar ou cortar recipientes metálicos que tenham sido usados para guardar líquidos combustíveis, sem cuidadosa limpeza prévia;
- usar tenazes para movimentar materiais metálicos aquecidos e de pequeno porte de um lado para outro.

Um dos grandes perigos na soldagem a gás é o retrocesso da chama, que pode acontecer devido à regulagem incorreta das pressões de saída dos gases. Quando isso acontece, deve-se proceder da seguinte maneira:

- ⇒ Feche a válvula que regula a saída de acetileno do maçarico.
- ⇒ Feche a válvula que regula a saída de oxigênio.
- ⇒ Esfrie o maçarico, introduzindo-o em um recipiente com água.
- ⇒ Retire o maçarico do recipiente e abra a válvula de oxigênio para retirar o água que tenha penetrado no maçarico.

### *Soldagem ao arco elétrico*

Soldagem ao arco elétrico é um processo de soldagem por fusão em que a fonte de calor é gerada por um arco elétrico formado entre um eletrodo e a peça a ser soldada.

### *Recordar é aprender*

Toda a matéria é constituída de átomos que são formados de partículas carregadas eletricamente: os **prótons** com carga positiva e os elétrons com carga **negativa**. Os elétrons estão sempre se movimentando em torno do núcleo do átomo. Nos materiais metálicos, os elétrons mais distantes do núcleo podem "escapar" e se deslocar entre os átomos vizinhos. Quando em presença de uma tensão elétrica, esses elétrons, chamados de elétrons livres, assumem um movimento ordenado ao qual se dá o nome de **corrente elétrica**.

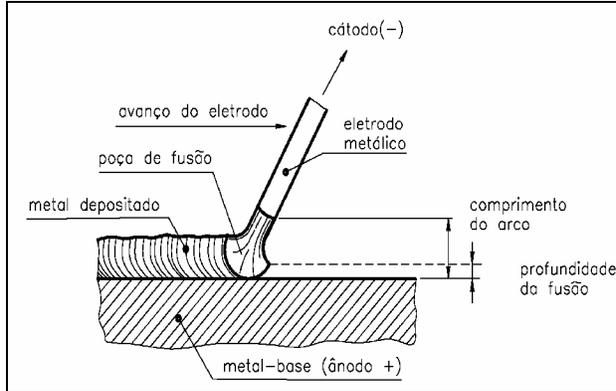
Por isso, os metais são bons condutores de eletricidade.

Quando o movimento dessas cargas se dá sempre no **mesmo** sentido, tem-se a **corrente contínua** como a fornecida pela bateria de um automóvel. Quando o movimento dos elétrons acontece alternadamente em um sentido e outro, tem-se a **corrente alternada**, que é aquela fornecida para nossas casas.

A corrente elétrica é medida por meio de amperímetros e sua unidade de medida é o **ampère**.

A **tensão elétrica**, que indica a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito elétrico, é medida por meio do voltímetro e sua unidade de medida é o **volt**.

O arco de soldagem é formado quando uma corrente elétrica passa entre uma barra de metal, que é o **eletrodo** e que pode corresponder ao pólo negativo (ou **cátodo**) e o metal de base, que pode corresponder ao pólo positivo (ou **ânodo**).



Os elétrons livres que formam a corrente elétrica percorrem o espaço de ar entre a peça e o eletrodo a uma velocidade tal que acontece um choque violento entre os elétrons e os íons. Este choque ioniza o ar, facilitando a passagem da corrente elétrica, e produz o arco elétrico.

**Íon** é um átomo que perdeu ou ganhou elétrons.

Para dar origem ao arco, é necessário que exista uma diferença de potencial entre o eletrodo e a peça: para corrente contínua de 40 a 50 volts, e para corrente alternada, de 50 a 60 volts. É necessário também que o eletrodo toque a peça, para que a corrente elétrica possa fluir. Depois que o arco é estabelecido, a tensão cai, de modo que um arco estável pode ser mantido entre um eletrodo metálico e a peça com uma tensão entre 15 e 30 volts.

O metal fundido do eletrodo é transferido para a peça formando uma poça de fusão. Esta é protegida da atmosfera por gases formados pela combustão do revestimento do eletrodo.

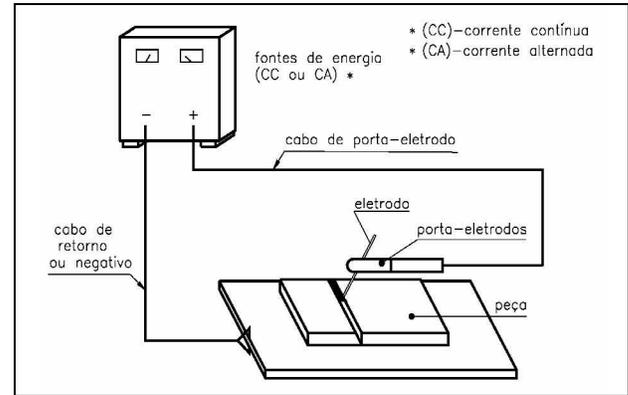
Atualmente o processo de soldagem ao arco elétrico por eletrodo revestido é usado nas indústrias naval, ferroviária, automobilística, metal-mecânica e de construção civil. É um processo predominantemente manual adaptado a materiais de diversas espessuras em qualquer posição de soldagem.

### Fontes de energia para soldagem.

O processo de soldagem ao arco necessita de fontes de energia que forneçam os valores de tensão e corrente adequados a sua formação.

Para isso, essas fontes devem apresentar algumas características:

- transformar a energia da rede que é de alta tensão e baixa intensidade de corrente em energia de soldagem caracterizada por baixa tensão e alta intensidade de corrente;
- oferecer uma corrente de soldagem estável;
- possibilitar a regulagem da tensão e da corrente;
- permitir a fusão de todos os diâmetros de eletrodos compatíveis com o equipamento usado.



Três tipos de fontes se enquadram nessas características: os **transformadores** que fornecem corrente alternada e os **transformadores-retificadores** e os geradores que fornecem corrente contínua. Quando se usa corrente contínua na soldagem a arco, tem-se:

1. a **polaridade direta** na qual a peça é o **pólo positivo** e o eletrodo é o **pólo negativo**.
2. ou a **polaridade inversa** quando a peça é o **pólo negativo** e o eletrodo é o **pólo positivo**.

A escolha da polaridade se dá em função do tipo do revestimento do eletrodo.

A maioria das soldagens ao arco é feita com corrente contínua porque ela é mais flexível, gera um arco estável e se ajusta a todas as situações de trabalho.

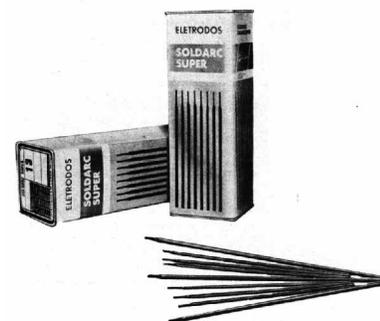
### Soldagem ao arco elétrico com eletrodos revestidos

Existem vários processos que usam arco elétrico para a realização da soldagem. Os mais comuns são:

- soldagem ao arco elétrico com eletrodo revestido;
- processo TIG, do inglês "Tungsten Inert Gas", que quer dizer (eletrodo de) tungstênio e gás (de proteção) inerte;
- processos MIG/MAG, respectivamente do inglês "Metal Inert Gas" e "Metal Activ Gas", ou seja, metal e (proteção de) gás inerte, e metal e (proteção de) gás ativo;
- arco submerso;
- arco plasma.

Como já vimos na outra parte desta aula, todos os processos de soldagem por arco elétrico usam um eletrodo para auxiliar na criação do arco. Isso acontece com todos os processos que acabamos de listar.

O que você ainda não sabe é que esse eletrodo ao se fundir, precisa de algum tipo de proteção para evitar a contaminação da poça de fusão pela atmosfera. Essa contaminação, que pode ser, por exemplo, pelo oxigênio e pelo nitrogênio que existem no ar, faz com que a junta soldada apresente propriedades físicas e químicas prejudicadas.

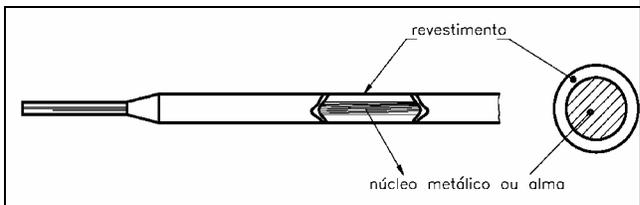


E como essa proteção atua em cada um dos processos que listamos na página anterior? Bem, vamos começar pela soldagem a arco com eletrodo revestido, e ver como isso funciona.

O eletrodo

O eletrodo revestido é constituído de um núcleo metálico chamado alma, que pode ser ou não da mesma natureza do metal-base porque o revestimento pode, entre outras coisas, complementar sua composição química. Desse modo, se o material a soldar é um aço de baixo carbono e baixa liga, a alma será de aço com carbono (aço efervescente). Se o material for aço inoxidável, a alma será de aço de baixo carbono (efervescente) ou aço inoxidável. Se for necessário soldar ferro fundido, a alma será de níquel puro ou liga de ferro-níquel, de ferro fundido, de aço.

O revestimento é composto de elementos de liga e desoxidantes (tais como ferro-silício, ferro-manganês), estabilizadores de arco, formadores de escória, materiais fundentes (tais como óxido de ferro e óxido de manganês) e de materiais que formam a atmosfera protetora (tais como dextrina, carbonatos, celulose).



Além de proteção contra a contaminação atmosférica, o revestimento tem as seguintes funções:

1. Reduzir a velocidade de solidificação, por meio da escória.
2. Proteger contra a ação da atmosfera e permitir a degaseificação do metal de solda por meio de escória.
3. Facilitar a abertura do arco, além de estabilizá-lo.
4. Introduzir elementos de liga no depósito e desoxidar o metal.
5. Facilitar a soldagem em diversas posições de trabalho.
6. Guiar as gotas em fusão na direção da poça de fusão.
7. Isolar eletricamente na soldagem de chanfros estreitos de difícil acesso, a fim de evitar a abertura do arco em pontos indesejáveis.

O quadro a seguir resume as principais informações sobre os diversos tipos de eletrodos revestidos.

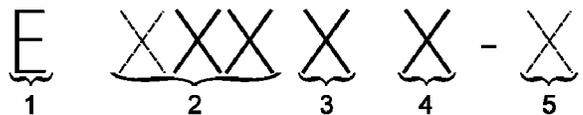
Tipo de eletrodo	Rútílico	Básico Baixo hidrogênio	Celulósico
Dados técnicos			
Componentes do revestimento	Rutilo ou compostos derivados de óxidos de titânio.	Carbonato de cálcio, outros carbonatos básicos e flúor.	Materiais orgânicos
Posição de soldagem	Todas	Todas	Todas
Tipo de corrente	CA ou CC (polaridade direta ou inversa).	CA ou CC (polaridade direta)	CA ou CC (polaridade direta)
Propriedades mecânicas de depósito	Razoáveis	Muito boas	Boas
Penetração	Pequena	Média	Grande
Escória	Densa e viscosa, geralmente autodestacável	Compacta e espessa, facilmente destacável	Pouca, de fácil remoção.
Tendência à trinca	Regular	Baixa	Regular

Além dessas informações sobre os principais tipos de eletrodos, é importante também saber como eles são classificados de acordo com as normas técnicas.

A classificação mais simples, aceita em quase todo o mundo, foi criada pela AWS – American Welding Society (Sociedade Americana de Soldagem). Veja quadro a seguir.

Especificação AWS para eletrodos Revestidos	
Ref. AWS	Eletrodos para:
A 5.1	aços carbono
A 5.3	alumínio e suas ligas
A 5.4	aços inoxidáveis
A 5.5	aços de baixa liga
A 5.6	cobre e suas ligas
A 5.11	níquel e suas ligas
A 5.13	revestimentos (alma sólida)
A 5.15	ferros fundidos
A 5.21	revestimento (alma tubular com carboneto de tungstênio)

Os eletrodos são classificados por meio de um conjunto de letras e algarismos, da seguinte maneira:



1. A letra E significa eletrodo para soldagem a arco elétrico.
2. Os dois primeiros dígitos, que também podem ser três, indicam o limite mínimo de resistência à tração que o metal de solda admite. Eles devem ser multiplicados por 1 000 para expressar e resistência em psi.
3. O dígito seguinte indica as posições de soldagem nas quais o eletrodo pode ser empregado com bons resultados:
  1. todas as posições
  2. posição horizontal (para toda solda em ângulo) e plana;
  3. posição vertical descendente, horizontal, plana e sobre cabeça
4. O dígito que vem em seguida vai de zero a oito e fornece informações sobre:
  - a corrente empregada: CC com polaridade negativa ou positiva, e CA;
  - a penetração do arco;
  - a natureza do revestimento do eletrodo.

psi, do inglês "pound per square inch", que quer dizer libra por polegada quadrada, é uma unidade de medida de pressão equivalente a uma libra-força por polegada quadrada ou a 6,895 Pa.

Esses dados estão resumidos na tabela a seguir.

4º dígito	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de corrente	CC <sup>+</sup>	CC <sup>+</sup> CA	CC <sup>-</sup> CA	CA CC <sup>+</sup> CC <sup>-</sup>	CA CC <sup>+</sup> CC <sup>-</sup>	CC <sup>+</sup>	CA CC <sup>+</sup>	CA CC <sup>-</sup>	CA CC <sup>+</sup>
Tipo do arco	Intenso com salpico	Intenso	Médio sem salpico	Leve	Leve	Médio	Médio	Leve	Leve
	Grande	Grande	Média	Fraca	Média	Média	Média	Grande	Média
Revestimento	XX10 celulósico silicato de sódio XX20-óxido de ferro XX30 óxido de ferro	Celulósico com silicato de potássio	Dióxido de titânio e silicato de sódio	Dióxido de titânio e silicato de potássio	Dióxido de titânio, silicatos, pó de ferro (20%).	Calcário, silicato de sódio.	Dióxido de titânio, calcário, silicato de potássio	Óxido de ferro silicato de sódio, pó de ferro	Calcário, dióxido de titânio, silicatos, pó de ferro (25 a 40%)

Vamos dizer, então, que você tenha um eletrodo E 6013. Esse número indica que se trata de um eletrodo com 60 000 psi, para soldar em todas as posições em CC<sup>+</sup>, CC<sup>-</sup> ou CA

5. Grupo de letras e números (nem sempre utilizados) que podem indicar a composição química do metal de solda.

#### Cuidados com os eletrodos revestidos

Cuidados especiais devem ser tomados com o manuseio e armazenamento dos eletrodos, pois estes podem ser facilmente danificados. Em caso de choque, queda ou se o eletrodo for dobrado, parte de seu revestimento pode ser quebrada, deixando exposta sua alma. Nesse caso, ele não deve ser usado em trabalhos de responsabilidade.

A absorção de umidade também pode comprometer o desempenho de alguns tipos de eletrodos. Por isso, eles são fornecidos em embalagens fechadas adequadamente. Uma vez aberta a embalagem, estes eletrodos devem ser guardados em estufas especiais para esse fim.

Os eletrodos revestidos devem ser manuseados e guardados de acordo com as instruções dos fabricantes.

#### Equipamentos

A soldagem ao arco elétrico com eletrodos revestidos é um processo manual presente em praticamente todos os tipos de indústrias que usam a soldagem como processo de fabricação. É também largamente empregada em soldagem de manutenção.

Embora amplamente usado, esse processo depende muito da habilidade do soldador. Portanto, a qualidade do trabalho de soldagem depende do profissional que deve ser muito bem treinado e experiente. Como a experiência só se adquire com a execução de muitas soldas, a preparação da mão-de-obra é demorada e, por isso, custa caro.

Para executar seu trabalho, além dos eletrodos o soldador precisa de:

- Uma fonte de energia que, como já vimos, pode ser um gerador de corrente contínua, um transformador, ou um retificador que transforma corrente alternada em corrente contínua.

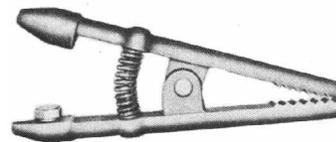


- Acessórios:

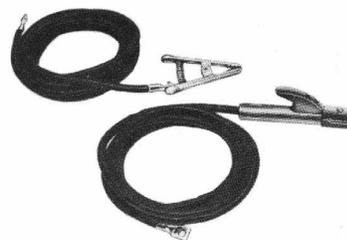
**Porta-eletrodo** – serve para prender firmemente o eletrodo e energizá-lo.



**Grampo de retorno**, também chamado de terra, que é preso à peça ou à tampa condutora da mesa sobre a qual está a peça. Quando se usa uma fonte de energia de corrente contínua, ele faz a função do pólo positivo ou do pólo negativo, de acordo com a polaridade escolhida.



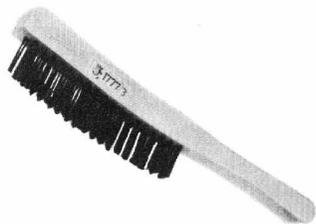
**Cabo**, ou condutor, que leva a corrente elétrica da máquina ao porta-eletrodo e do grampo de retorno para a máquina.



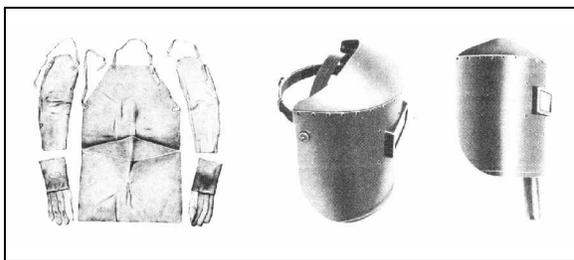
**Picadeira** – uma espécie de martelo em que um dos lados termina em ponta e o outro em forma de talhadeira. Serve para retirar a escória e os respingos.



**Escova de fios de aço** – serve para a limpeza do cordão de solda.



- Equipamentos de proteção individual: luvas, avental, máscaras protetoras, botas de segurança, perneira e gorro.



Os capacetes e as máscaras ou escudos são fabricados com materiais resistentes, leves, isolantes térmicos e elétricos e contêm lentes protetoras de cor escura, que filtram os raios ultravioleta, os infravermelhos (invisíveis) e os raios luminosos visíveis que prejudicam a visão.

### **Uso correto das máquinas**

Usar corretamente o equipamento é responsabilidade do soldador que deve conservá-lo em perfeito estado e operá-lo de modo que consiga o maior rendimento possível.

Assim, antes de ligar a máquina, o operador deve se certificar de que os cabos, as conexões e os porta-eletrodos estão em bom estado.

Se a fonte de energia usada for um retificador, este deve continuar ligado por mais 5 minutos após o término da soldagem para que o ventilador possa esfriar as placas de silício da máquina.

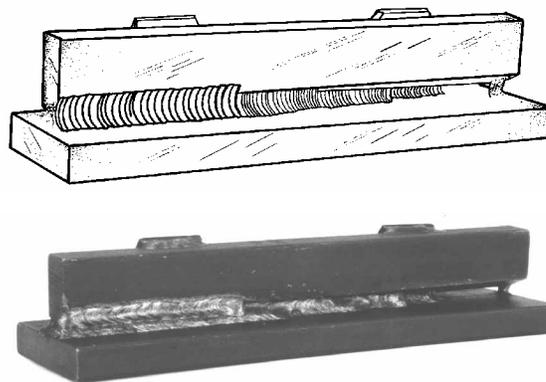
Se a fonte for um gerador, o soldador deve lembrar que a chave para ligar a máquina possui dois estágios. Por isso, é preciso ligar o primeiro estágio, esperar o motor completar a rotação e, só então, ligar o segundo estágio.

### **Etapas do processo**

O processo de soldagem ao arco elétrico com eletrodo revestido apresenta as seguintes etapas:

1. Preparação do material que deve ser isento de graxa, óleo, óxidos, tintas etc.
2. Preparação da junta;
3. Preparação do equipamento.
4. Abertura do arco elétrico.
5. Execução do cordão de solda.
6. Extinção do arco elétrico.
7. Remoção da escória.

Conforme o tipo de junta a ser soldada, as etapas 4, 5, 6 e 7 devem ser repetidas quantas vezes for necessário para a realização do trabalho. Esse conjunto de etapas que produz um cordão de solda é chamado de passe. As figuras a seguir mostram os vários passes dados em uma junta.



### **Defeitos de soldagem**

Mesmo o trabalho de um bom soldador está sujeito a apresentar defeitos. Às vezes, eles são visíveis durante o trabalho. Outras, eles só podem ser detectados por meio dos **ensaios destrutivos e não destrutivos**, ou seja, aquelas análises feitas com o auxílio de aparelhos especiais e substâncias adequadas, após a soldagem.

Para facilitar seu estudo, colocamos esses dados na tabela a seguir, que apresenta uma lista de alguns problemas mais comuns na soldagem ao arco elétrico, suas possíveis causas e modos de preveni-las.

### **Anotações:**

Tipo de descontinuidade	Causas	Prevenção
Superfície irregular	<ol style="list-style-type: none"> <li>Escolha do tipo de corrente / polaridade errada.</li> <li>Amperagem inadequada.</li> <li>Utilização do eletrodo úmido / de má qualidade.</li> <li>Manuseio incorreto.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Verificar as especificações do eletrodo.</li> <li>Ajustar a amperagem.</li> <li>Ressecar os eletrodos segundo recomendações do fabricante / trocar p/outros de melhor qualidade.</li> <li>Aprimorar o manuseio do eletrodo.</li> </ol>
Mordedura ou falta de fusão na face	<ol style="list-style-type: none"> <li>Amperagem muito alta.</li> <li>Arco muito longo.</li> <li>Manuseio incorreto do eletrodo.</li> <li>Velocidade de soldagem muito alta.</li> <li>O arco apresenta sopro lateral (sopro magnético)</li> <li>Ângulo incorreto do eletrodo.</li> <li>Eletrodo com revestimento excêntrico.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Diminuir a amperagem fornecida pela máquina de solda.</li> <li>Encurtar o arco, aproximando o eletrodo da peça em soldagem.</li> <li>Melhorar o manuseio do eletrodo depositando mais nas laterais.</li> <li>Diminuir a velocidade de soldagem, avançando mais devagar.</li> <li>Inclinar o eletrodo na direção do sopro magnético, principalmente próximo aos extremos da junta.</li> <li>Modificar a posição da garra do cabo de retorno.</li> <li>Evitar ou modificar a posição dos objetos facilmente magnetizáveis.</li> <li>Mudar a fonte de energia p/ corrente alternada (use um transformador).</li> <li>Inclinar o eletrodo no ângulo correto.</li> <li>Trocar o eletrodo.</li> </ol>
Poros visíveis	<ol style="list-style-type: none"> <li>Utilização de eletrodos úmidos.</li> <li>Ponta de eletrodo danificado (sem revestimento).</li> <li>Em C.C., polaridade invertida.</li> <li>Velocidade de soldagem muito alta.</li> <li>Arco muito longo.</li> <li>Amperagem inadequada.</li> <li>Metal de base sujo de óleo, tintas, oxidação ou molhado.</li> <li>Manuseio inadequado do eletrodo na posição vertical ascendente.</li> <li>Irregularidade no fornecimento de energia elétrica.</li> <li>Preparação inadequada da junta.</li> <li>Metal de base impuro ou defeituoso.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Usa somente eletrodo secos,</li> <li>Utilizar somente eletrodos perfeitos.</li> <li>Inverter a polaridade na máquina de solda.</li> <li>Diminuir a velocidade de soldagem</li> <li>Diminuir o comprimento do arco elétrico, aproximando o eletrodo da peça.</li> <li>Ajustar a amperagem da máquina para o intervalo recomendado pelo fabricante para o tipo e bitola do eletrodo em questão.</li> <li>Limpar o metal de base por meios apropriados, antes da soldagem.</li> <li>Executar a movimentação adequada com tecimento lento e compassados, mantendo o arco elétrico constantemente curto.</li> <li>Dimensionar a rede adequadamente.</li> <li>Obter uma fresta constante e dentro dos limites da posição de trabalho.</li> <li>Rejeitar o metal de base.</li> </ol>

Continuação:

Inclusão de escória visível	<ol style="list-style-type: none"> <li>Não remoção da escória do passe anterior.</li> <li>Chanfro irregular.</li> <li>Chanfro muito estreito.</li> <li>Manuseio incorreto do eletrodo.</li> <li>Sobreposição errada dos passes.</li> <li>Amperagem baixa.</li> <li>Velocidade de soldagem muito alta.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Remover a escória do passe anterior antes de reiniciar a soldagem.</li> <li>A preparação das bordas deve sempre ser realizada de maneira a obter paredes lisas sem falhas.</li> <li>Aumentar o ângulo do chanfro.</li> <li>Movimentar o eletrodo de forma a impedir que a escória passe à frente da poça de fusão (aumentar a velocidade de soldagem e diminuir o ângulo de ataque).</li> <li>Evitar mordeduras laterais onde a escória é de difícil remoção, realizar passe de raiz o mais largo possível com transição suave com o metal de base.</li> <li>A seqüência dos passes deve ser tal que evite a formação de bolsas de escória.</li> <li>Não soldar sobre passes de grande convexidade.</li> <li>Aumentar a amperagem.</li> <li>Diminuir a velocidade de soldagem.</li> </ol>
Respingos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Amperagem muito elevada.</li> <li>Arco muito longo.</li> <li>Em C.C. polaridade invertida.</li> <li>Arco com sopro magnético.</li> <li>Metal de base sujo de óleo, tintas, oxidação ou molhado.</li> <li>Utilização de eletrodo úmido de má qualidade.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Diminuir a amperagem da máquina.</li> <li>Encurtar o arco, aproximando o eletrodo da peça em soldagem.</li> <li>Inverter a polaridade na fonte de energia.</li> <li>Inclinar o eletrodo na direção do sopro magnético, principalmente próximo aos extremos da junta.</li> <li>Modificar posição da garra do cabo de retorno.</li> <li>Evitar e modificar a posição dos objetos facilmente magnetizáveis.</li> <li>Mudar a fonte de energia para corrente alternada (usar um transformador).</li> <li>Aquecer a peça quando existe um membro da junta mais espesso que o outro.</li> <li>Limpar o metal de base, eliminando poeiras, óleos, graxas, tintas, oxidação etc.</li> <li>Secar os eletrodos, segundo as recomendações do fabricante.</li> <li>Trocar os eletrodos por outros de melhor qualidade.</li> </ol>

Continuação:

Falta de penetração ou falta de fusão na raiz	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uso de eletrodo de diâmetro muito grande impedindo sua descida até a raiz.</li> <li>2. Fresta muito pequena ou mesmo inexistente; fresta irregular.</li> <li>3. Presença de nariz ou nariz muito grande.</li> <li>4. Falha no manejo do eletrodo.</li> <li>5. Ângulo de ataque incorreto, principalmente com eletrodos básicos.</li> <li>6. Falta de calor na junta.</li> <li>7. Penetração da escória, entre os dois membros da junta na região da raiz impede uma fusão completa dos materiais.</li> <li>8. Alta velocidade de soldagem.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilizar eletrodo de maior diâmetro ou eletrodo de revestimento mais fino.</li> <li>2. Ser caprichoso na preparação da junta a soldar; realizar a montagem respeitando sempre a fresta mínima em função do chanfro e da posição de soldagem.</li> <li>2. Procurar tomar a fresta a mais constante possível, através de um ponteamto adequado</li> <li>3. Verificar se é realmente necessária a existência de nariz.</li> <li>3. Procurar tornar o nariz o mais constante possível, e sempre menor do que o máximo permitido para o tipo de chanfro e posição de soldagem definidos</li> <li>4. Dirigir sempre o arco elétrico de modo a aquecer apropriadamente ambas as bordas do chanfro.</li> <li>4. Realizar as retornadas / reacendimentos de forma correta.</li> <li>4. Realizar a retomada/reacendimentos de forma correta</li> <li>5. Utilizar o ângulo adequado.</li> <li>6. Aumentar a amperagem se ela estiver baixa.</li> <li>6. Usar eletrodo de maior diâmetro, se o material for espesso.</li> <li>6. Diminuir a velocidade de soldagem.</li> <li>6. Preaquecer a peça de trabalho, se ela estiver fria.</li> <li>6. Soldar em posição vertical ascendente.</li> <li>7. Movimentar o eletrodo de forma a impedir que a escória passe da poça de fusão.</li> <li>8. Diminuir a velocidade de soldagem.</li> </ol>
Mordedura na raiz	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Amperagem muito alta.</li> <li>2. Arco muito longo.</li> <li>3. Manuseio incorreto do eletrodo.</li> <li>4. Velocidade de soldagem muito alta.</li> <li>5. Sopros magnético.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diminuir a amperagem fornecida pela máquina de solda.</li> <li>2. Encurtar o arco.</li> <li>3. Melhorar o manuseio do eletrodo.</li> <li>4. Diminuir a velocidade de soldagem, avançando mais devagar.</li> <li>5. Inclinar o eletrodo na direção do sopro magnético.</li> <li>5. Modificar a posição da garra do cabo de retorno.</li> <li>5. Evitar ou modificar a posição dos objetos</li> <li>5. Mudar a fonte de energia para corrente alternada (usar um transformador).</li> </ol>

Continuação:

Trincas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soldagem defeituosa, contendo inclusões de escória, falta de penetração, mordeduras, etc.</li> <li>2. Cratera final com mau acabamento.</li> <li>3. Calor excessivo na junta causando excesso de contração e distorção.</li> <li>4. Metal de base sujo de óleo, tintas ou molhado.</li> <li>5. Trincas devido ao ponteamto franco</li> <li>6. Cordão de solda muito pequeno (particularmente passe de raiz ou de filete).</li> <li>7. Teor de enxofre alto no metal de base.</li> <li>8. Têmpera da zona termicamente afetada.</li> <li>9. Fragilização pelo hidrogênio.</li> <li>10. Projeto de junta adequado.</li> <li>11. Montagem muito rígida.</li> <li>12. Tensões residuais muito elevadas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soldar corretamente evitando a descontinuidade.</li> <li>2. Interromper a soldagem de forma adequada, fazendo com que a extinção do arco ocorra sobre o passe recém executado.</li> <li>3. Reduzir a corrente ou a tensão ou ambas, aumentar também a velocidade de soldagem.</li> <li>4. Limpar ou secar o metal de base.</li> <li>5. Efetuar o ponteamto com metal de adição adequado, corretamente dimensionado em tamanho e frequência.</li> <li>5. Remover as soldas de fixação à medida que o trabalho for progredindo.</li> <li>5. Nos casos possíveis executar o ponteamto do lado que não será executada a soldagem.</li> <li>5. Substituir o ponteamto por outro sistema de fixação ("cachorros", "batoques", "pontes", etc.).</li> <li>6. Reduzir a velocidade de soldagem, o cordão deve ter uma secção transversal suficientemente robusta para suportar os esforços a que estará submetido.</li> <li>7. Utilizar eletrodos com manganês alto.</li> <li>7. Usar arco mais curto para minimizar a queima do manganês.</li> <li>7. Ajustar o chanfro de modo a permitir adequada diluição e utilização do eletrodo.</li> <li>7. Alterar a seqüência de passes de forma a reduzir a restrição da solda no resfriamento.</li> <li>7. Mudar o material a fim de obter adequada relação % Mn / %S.</li> <li>8. Fazer pré-aquecimento para retardar o resfriamento.</li> <li>8. Usar eletrodos ressecados conforme recomendações do fabricante.</li> <li>9. Remover contaminação (óleos, umidades, etc.).</li> <li>9. Manter a solda a temperatura elevada por um período longo para permitir a saída do hidrogênio através da difusão (pós aquecimento).</li> <li>10. Preparar os chanfros com dimensões adequadas.</li> <li>11. Escolher uma seqüência de soldagem que acarrete as menores tensões possíveis na junta.</li> <li>11. Controlar a distribuição de calor na peça de trabalho, aquecendo-a ou resfriando-a em todo ou em partes.</li> <li>12. Usar tratamento térmico de alívio de tensões.</li> </ol>
---------	--	--

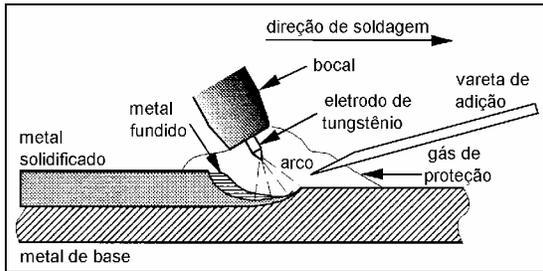
## Soldagem TIG

Existe um processo de soldagem manual, que também pode ser automatizado, e que resolve esses problemas. Ele é chamado de soldagem TIG, um processo dos mais versáteis em termos de ligas soldáveis e espessuras, produzindo soldas de ótima qualidade.

O processo de soldagem TIG é o assunto desta aula.

### Que sigla é essa?

Como você já deve ter percebido, TIG é uma sigla. Ela deriva do inglês **Tungsten Inert Gas** e se refere a um processo de soldagem ao arco elétrico, com ou sem metal de adição, que usa um eletrodo não-consumível de tungstênio envolto por uma cortina de gás protetor.



Nesse processo, a união das peças metálicas é produzida por aquecimento e fusão através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não-consumível e as peças a serem unidas. A principal função do gás inerte é proteger a poça de fusão e o arco contra a contaminação da atmosfera.

Esse processo é aplicável à maioria dos metais e suas ligas numa ampla faixa de espessuras. Porém, devido à baixa taxa de deposição, sua aplicação é limitada à soldagem de peças pequenas e no passe de raiz, principalmente de metais não-ferrosos e de aço inoxidável.

O arco elétrico na soldagem TIG produz soldas com boa aparência e acabamento. Isso exige pouca ou nenhuma limpeza após a operação de soldagem. Esse arco pode ser obtido por meio de corrente alternada (CA), corrente contínua e eletrodo negativo (CC-), e corrente contínua e eletrodo positivo (CC+), que é pouco usada pelos riscos de fusão do eletrodo e contaminação da solda.

Um arco de soldagem TIG ideal é aquele que fornece a máxima quantidade de calor ao metal-base e a mínima ao eletrodo. Além disso, no caso de alumínio e magnésio e suas ligas, ele deve promover a remoção da camada de óxido que se forma na frente da poça de fusão. Dependendo da situação e de acordo com as necessidades do trabalho, cada um dos modos de se produzir o arco (CA, CC+ ou CC-) apresenta um ou mais desses requisitos. Veja tabela a seguir.

Tipo de corrente	C/C-	C/C+	CA (Balanceada)
Polaridade do eletrodo	Negativa ou direta	Positiva ou inversa	
Ação de limpeza	Não	Sim	Sim, em cada semi-ciclo
Balanco de calor no arco (aprox.)	70% na peça 30% no eletrodo	30% na peça 70% no eletrodo	50% na peça 50% no eletrodo
Penetração	Estreita e profunda	Rasa e superficial	Média
Aplicação	Aço, cobre, prata, aços austeníticos ao cromo-níquel e ligas resistentes ao calor.	Pouco usada. Requer eletrodos de menor diâmetro ou correntes mais baixa.	Alumínio, Magnésio e suas ligas.

(Fonte: **Tecnologia da soldagem** por Paulo Villani Marques e outros. Belo Horizonte: ESAB, 1991, p.187)

O uso do eletrodo não-consumível permite a soldagem sem utilização de metal de adição. O gás inerte, por sua vez, não reage quimicamente com a poça de fusão. Com isso, há pouca geração de gases e fumos de soldagem, o que proporciona ótima visibilidade para o soldador.

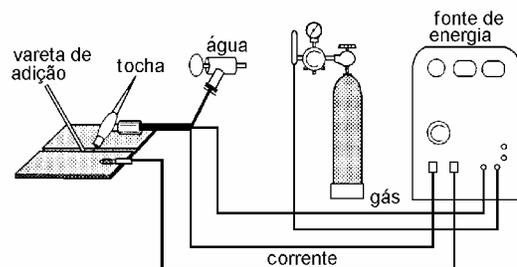
A soldagem TIG é normalmente manual em qualquer posição mas, com o uso de dispositivos adequados, o processo pode ser facilmente mecanizado.

### Equipamento básico

O equipamento usado na soldagem TIG é composto basicamente por:

- uma fonte de energia elétrica;
- uma tocha de soldagem;

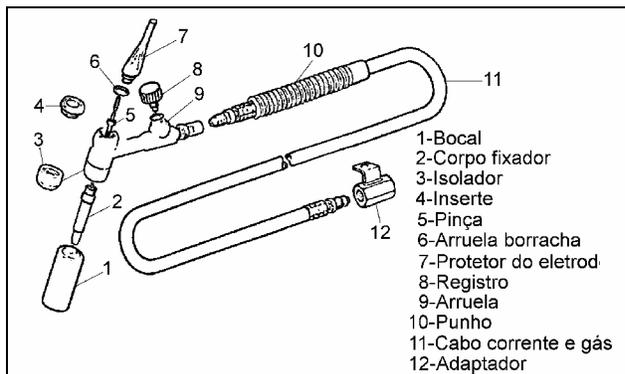
- uma fonte de gás protetor;
- um eletrodo para a abertura do arco;
- unidade para circulação de água para refrigeração da tocha.



A **fonte de energia** elétrica é do tipo ajustável e pode ser:

- ⇒ um transformador que fornece corrente alternada;
- ⇒ um transformador/retificador de corrente contínua com controle eletromagnético ou eletrônico;
- ⇒ fonte de corrente pulsada;
- ⇒ fontes que podem fornecer corrente contínua ou alternada.

A **tocha de soldagem** tem como função suportar o eletrodo de tungstênio e conduzir o gás de proteção de forma apropriada. Ela é dotada de uma pinça interna que serve para segurar o eletrodo e fazer o contato elétrico. Possui também um bocal que pode ser de cerâmica ou de metal e cuja função é direcionar o fluxo do gás.



Todas as tochas precisam ser refrigeradas. Isso pode ser feito pelo próprio gás de proteção, em tochas de capacidade até 150 A ou, para tochas entre 150 e 500 A, com água corrente fornecida por um circuito de refrigeração composto por um motor elétrico, um radiador e uma bomba d'água.

### Eletrodos

O **eletrodo** usado no processo de soldagem TIG é uma vareta sinterizada de tungstênio puro ou com adição de elementos de liga (tório, zircônio, lantânio e cério). Sua função é conduzir a corrente elétrica até o arco. Essa capacidade de condução varia de acordo com sua composição química, com seu diâmetro e com o tipo de corrente de soldagem.

A seleção do tipo e do diâmetro do eletrodo é feita em função do material que vai ser soldado, da espessura da peça, do tipo da junta, do número de passes necessários à realização da soldagem, e dos parâmetros de soldagem que vão ser usados no trabalho.

### Consumíveis

Para a realização da soldagem TIG, além dos eletrodos, são necessários também os itens chamados de consumíveis, ou seja, o **metal de adição** e o **gás de proteção**.

Embora o processo TIG permita a soldagem sem **metal de adição**, esse tipo de trabalho é de uso limitado, principalmente a materiais de espessura muito fina e ligas não propensas a trincamento quando aquecidas. A função do metal de adição é justamente ajudar a diminuir as fissuras e participar na produção do cordão de solda.

Para soldagem manual, o metal de adição é fornecido na forma de varetas. Para a soldagem mecanizada, o metal é fornecido na forma de um fio enrolado em bobinas. Os diâmetros dos fios e das varetas são padronizados e variam entre 0,5 e 5 mm. O diâmetro é escolhido em função da espessura das peças ou da quantidade de material a ser depositado e dos parâmetros de soldagem.

A escolha do metal de adição para uma determinada aplicação é feita em função da composição química e das propriedades mecânicas desejadas para a solda. Em geral, o metal de adição tem composição semelhante à do metal de base.

É importante lembrar que os catálogos dos fabricantes são fontes ideais de informações necessárias para ajudar na escolha dos gases de proteção, dos eletrodos e do metal de adição.

O **gás inerte**, além de proteger a região do arco compreendida pela poça de fusão, também transfere a corrente elétrica quando ionizado. Para esse sistema, os gases usados são o hélio, o argônio ou uma mistura dos dois.

A seleção do gás de proteção é feita em função do tipo de metal que se quer soldar, da posição de soldagem e da espessura das peças a unir.

O grau de pureza do gás de proteção é essencial para a qualidade da solda e ele deve ficar em torno de 99,99%. É importante lembrar que essa pureza deve ser mantida até que o gás chegue efetivamente ao arco, a fim de evitar que vestígios de sujeira e umidade resultem em contaminação da solda.

Além dos equipamentos e materiais que acabamos de descrever, vários equipamentos ou sistemas auxiliares podem ser usados para facilitar ou mecanizar a operação de soldagem, tais como:

- posicionadores, para permitir a soldagem na posição plana;
- dispositivos de deslocamento, para movimentar a tocha ou a peça;
- controladores automáticos de comprimento de arco, para manter constante a distância da ponta do eletrodo até a peça;
- alimentadores de metal de adição, para mecanizar a adição do metal e permitir uniformidade na adição;
- osciladores do arco de soldagem, para mecanizar o tecimento do cordão;
- temporizadores, para controlar o início e o fim da operação dos diversos dispositivos auxiliares da soldagem, controlar o fluxo de gás e sincronizar toda a operação do sistema.

### Etapas do processo de soldagem TIG manual

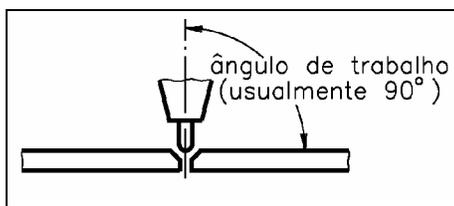
Para realizar a soldagem TIG, o operador deve seguir as seguintes etapas:

1. Preparação da superfície, para remoção de óleo, graxa, sujeira, tinta, óxidos, por meio de lixamento, escovamento, decapagem.
2. Abertura do gás (pré-purga) para expulsar o ar da mangueira de gás e da tocha.
3. Pré-vazão, ou formação de cortina protetora antes da abertura do arco.
4. Abertura do arco por meio de um ignitor de alta frequência.
5. Formação da poça de fusão.
6. Adição do metal na poça de fusão, quando aplicável.
7. Ao final da junta, extinção do arco por interrupção da corrente elétrica.
8. Passagem do gás inerte sobre a última parte soldada para resfriamento do eletrodo e proteção da poça de fusão em solidificação (pós-vazão).
9. Fechamento do fluxo do gás.

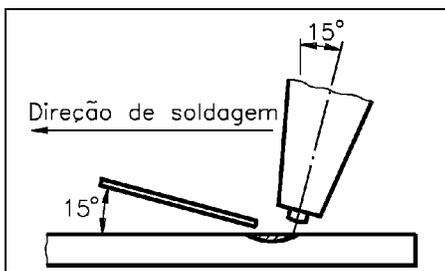
As etapas 3 e 8 são automáticas, ou seja, fazem parte das características técnicas do equipamento.

Esse procedimento exige técnicas adequadas para sua execução. Por exemplo:

- No início da soldagem, a tocha deve permanecer no ponto de partida por um tempo entre 3 e 5 segundos, para que se forme uma poça de fusão.
- Usualmente durante a soldagem, a tocha deve permanecer perpendicular em relação à superfície da junta de modo que o ângulo de trabalho seja de 90°. Ao mesmo tempo, ela deve estar ligeiramente inclinada para trás (ângulo de soldagem de 5 a 15°).



- O movimento da tocha deve ser firme e uniforme, à medida que a vareta de adição é introduzida na borda frontal ou lateral da poça. A vareta deve formar um ângulo de aproximadamente 15º em relação à superfície da peça.



Ao se soldar componentes de espessuras diferentes, o arco deve ser direcionado para o lado da junta de maior espessura a fim de se obter fusão e penetração iguais dos dois lados.

Além disso, deve-se também considerar o conjunto de parâmetros que asseguram a penetração e o perfil do cordão desejados. Eles são, por exemplo:

- o comprimento do arco, que varia entre 3 e 10 mm, dependendo do tipo e da localização da junta.
- a intensidade da corrente de soldagem, relacionada principalmente com a espessura do metal de base, diâmetro e tipo de eletrodo.
- a bitola da vareta é escolhida de acordo com a quantidade de metal a ser adicionado à poça de fusão.
- vazão do gás que influencia na qualidade do cordão de solda.

A determinação dos parâmetros de soldagem é feita em função do material a ser soldado, da espessura das peças, da posição de soldagem e dos equipamentos disponíveis. Isso é válido também para a decisão de uso ou não de metal de adição.

### Problemas operacionais e defeitos nas soldas

Por mais cuidado que se tome, os problemas e os defeitos sempre acontecem. O quadro a seguir mostra quais são eles, suas causas e como corrigi-los.

Veja a tabela a seguir

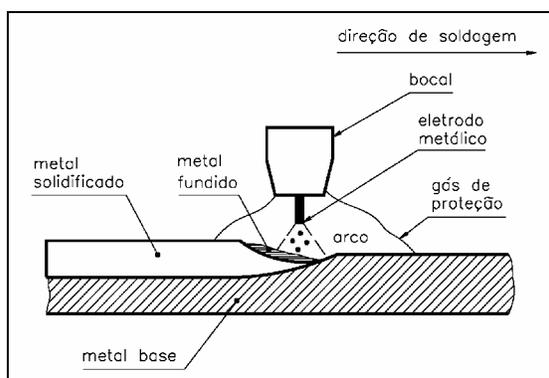
Problemas / Defeitos	Causas	Correções
Consumo excessivo de eletrodo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gás de proteção insuficiente.</li> <li>2. Soldagem em polaridade inversa.</li> <li>3. Diâmetro inadequado do eletrodo em relação à corrente necessária ao trabalho.</li> <li>4. Eletrodo contaminado.</li> <li>5. Oxidação do eletrodo durante o resfriamento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpar boca da tocha.</li> <li>1. Verificar se há vazamento nas mangueiras.</li> <li>1. Diminuir distância entre o bocal e a peça.</li> <li>1. Aumentar a vazão do gás.</li> <li>2. Corrigir polaridade.</li> <li>2. Usar eletrodo de diâmetro maior.</li> <li>3. Usar eletrodo de diâmetro maior</li> <li>4. Eliminar a contaminação por meio de esmerilhamento da ponta do eletrodo.</li> <li>5. Manter o gás fluindo após a extinção do arco por pelo menos 10 segundos.</li> </ol>
Arco errático.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presença de óxidos ou agentes contaminadores na superfície do metal de base.</li> <li>2. Ângulo do chanfro da junta estreito demais.</li> <li>3. Eletrodo contaminado.</li> <li>4. Diâmetro do eletrodo grande demais para a intensidade de corrente usada.</li> <li>5. Arco muito longo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpar superfície do metal de base.</li> <li>2. Corrigir ângulo.</li> <li>3. Limpar eletrodo.</li> <li>4. Utilizar eletrodo de tamanho adequado, ou seja, o menor possível para a corrente necessária.</li> <li>5. Aproxime mais o eletrodo.</li> </ol>
Porosidade	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Impurezas na linha de gás.</li> <li>2. Mangueiras de gás e água trocadas.</li> <li>3. Superfície do metal de base e/ou do metal de adição contaminada.</li> <li>4. Vazão do gás inadequada.</li> <li>5. Arco muito longo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Purgar o ar de todas as linhas antes de abrir o arco.</li> <li>2. Usar somente mangueiras novas.</li> <li>2. Nunca trocar as mangueiras.</li> <li>3. Fazer limpeza.</li> <li>4. Corrigir vazão de gás.</li> <li>5. Corrigir comprimento do arco.</li> </ol>
Cordão de solda oxidado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proteção insuficiente do gás.</li> <li>2. Metal de base ou de adição sujo.</li> <li>3. Contaminação com o tungstênio do eletrodo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar taxa de vazão do gás.</li> <li>1. Verificar tamanho do arco.</li> <li>1. Corrigir posição da tocha.</li> <li>1. Centralizar os eletrodos no bocal de gás.</li> <li>2. Limpar a superfície do material de base e dos materiais de adição.</li> <li>3. Abrir o arco sem tocar o metal de base; usar corrente de alta frequência .</li> </ol>
Cordão de solda muito largo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Arco muito longo</li> <li>2. Velocidade de soldagem muito baixa para corrente usada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Corrigir tamanho do arco.</li> <li>1. Corrigir posição da tocha.</li> <li>2. Verificar e alterar corrente e/ou velocidade de soldagem.</li> </ol>

O processo de soldagem TIG, por sua importância e versatilidade exige um conhecimento cujas noções básicas todo o profissional da área de metal-mecânica deve ter. Esse foi o objetivo desta aula: dar-lhe esse conhecimento básico. O resto agora é com você.

## Soldagem MIG – MAG

Basicamente, as siglas MIG e MAG indicam processos de soldagem por fusão que utilizam o calor de um arco elétrico formado entre um eletrodo metálico consumível e a poça. Neles, o arco e a poça de fusão são protegidos contra a contaminação pela atmosfera por um gás ou uma mistura de gases.

Antes que você pare de ler a lição porque acha que isso já foi estudado, vamos garantir que esse processo tem no mínimo duas diferenças com relação ao processo por eletrodo revestido que também usa o princípio do arco elétrico para a realização da soldagem. Vamos a elas.



A primeira diferença é que o processo MIG/MAG usam eletrodos não-revestidos, isto é, nuzinhos da silva, para a realização da soldagem.

A segunda é que a alimentação do eletrodo é feita **mecanicamente**. Essa semi-automatização faz com que o soldador seja responsável pelo início, pela interrupção da soldagem e por mover a tocha ao longo da junta. A manutenção do arco é assegurada pela alimentação mecanizada e contínua do eletrodo. Isso garante ao processo sua principal vantagem em relação a outros processos de soldagem manual: a alta produtividade.

As siglas **MIG** e **MAG**, usadas no Brasil, vêm do inglês "metal inert gas" e "metal active gas". Essas siglas se referem respectivamente aos gases de proteção usados no processo: gases inertes ou mistura de gases inertes, e gás ativo ou mistura de gás ativo com inerte. Ajudam também a identificar a diferença fundamental entre um e outro: a soldagem MAG é usada principalmente na soldagem de materiais **ferrosos**, enquanto a soldagem MIG é usada na soldagem de materiais **não-ferrosos**, como o alumínio, o cobre, o níquel, o magnésio e suas respectivas ligas.

A soldagem MIG/MAG é usada na fabricação de componentes e estruturas, na fabricação de equipamentos de médio e grande porte como pontes rolantes, vigas, escavadeiras, tratores; na indústria automobilística, na manutenção de equipamentos e peças metálicas, na recuperação de peças desgastadas e no revestimento de superfícies metálicas com materiais especiais.

As amplas aplicações desses processos são devidas à:

- alta taxa de deposição, o que leva a alta produtividade no trabalho do soldador;
- versatilidade em relação ao tipo de materiais, espessuras e posições de soldagem em que podem ser aplicados;
- ausência de operações de remoção de escória por causa da não utilização de fluxos de soldagem;
- exigência de menor habilidade do soldador.

Apesar da maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda, a soldagem MIG/MAG, por sua alta produtividade, é a que apresentou maior crescimento de utilização nos últimos anos no mundo.

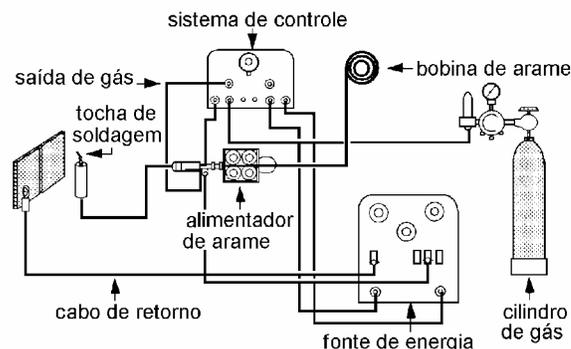
## Equipamentos para soldagem MIG/MAG

O equipamento usado no processo de soldagem com proteção a gás pode ser:

- semi-automático, no qual a alimentação do eletrodo é feita automaticamente pela máquina e as demais operações são realizadas pelo soldador
- ou automático, no qual após a regulagem feita pelo soldador, este não interfere mais no processo.

Para empregar o processo MIG/MAG, é necessário ter os seguintes equipamentos:

1. Uma fonte de energia;
2. Um sistema de alimentação do eletrodo;
3. Uma tocha/pistola de soldagem;
4. Um suprimento de gás de proteção com regulador de pressão e fluxômetro;
5. Um sistema de refrigeração de água, quando necessário.



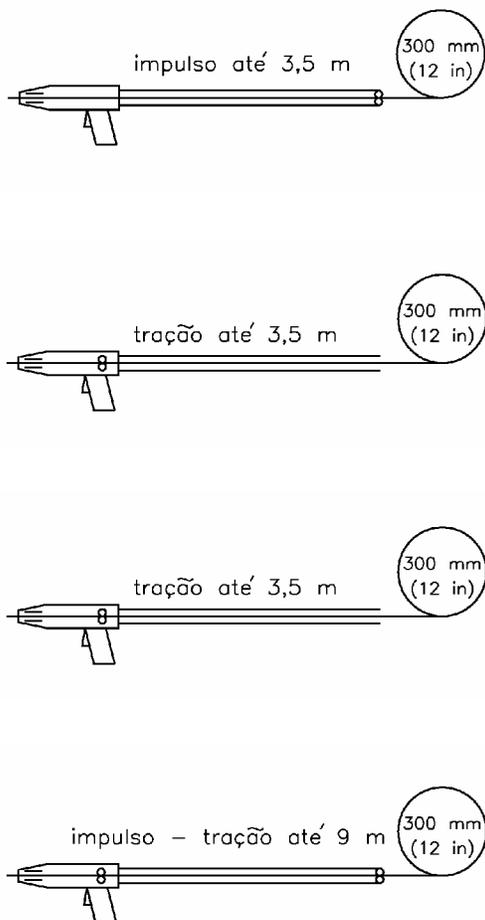
As **fontes de energia** para a soldagem MIG/MAG são do tipo transformador-retificador de corrente contínua.

Para que o processo de soldagem com eletrodo consumível seja estável, é preciso que o comprimento do arco permaneça constante. Para isso, a velocidade de consumo do eletrodo deve ser, teoricamente e em média, igual a sua velocidade de alimentação. Esse trabalho é feito pelas fontes de energia de duas formas:

- a) pelo controle da velocidade de alimentação do eletrodo de modo que a iguale à velocidade de fusão, ou
- b) pela manutenção da velocidade de alimentação constante, permitindo variações nos parâmetros de soldagem.

Normalmente, o **sistema alimentador do eletrodo** combina as funções de acionar o eletrodo e controlar elementos como vazão de gás e água, e a energia elétrica fornecida ao eletrodo. Ele é acionado por um motor de corrente contínua independente da fonte. A velocidade de alimentação do arame (eletrodo), que vem enrolado em bobinas, está diretamente relacionada à intensidade da corrente de soldagem fornecida pela máquina de solda, conforme as características da fonte e do processo.

Para ser movimentado, o eletrodo é passado por um conjunto de roletes de alimentação, que pode estar próximo ou afastado da tocha de soldagem.

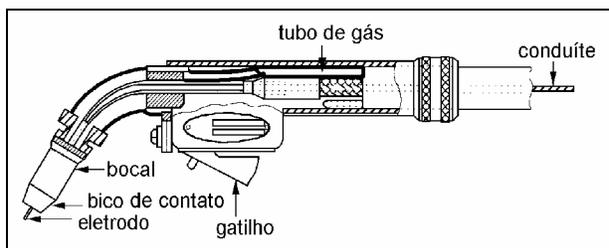


A **tocha de soldagem** conduz simultaneamente o eletrodo, a energia elétrica e o gás de proteção a fim de produzir o arco de soldagem. Suas funções são:

- guiar o eletrodo de modo que o arco fique alinhado com a junta a ser soldada;
- fornecer a corrente de soldagem ao eletrodo;
- envolver o arco e a poça de fusão com o gás de proteção.

Ela consiste basicamente de:

- um bico de contato que faz a energização do arame-eletrodo;
- um bocal que orienta o fluxo do gás;
- um gatilho de acionamento do sistema.



As tochas de soldagem podem ser refrigeradas por água ou pelo próprio gás de proteção que conduzem. Isso depende dos valores de corrente usados e do ciclo de trabalho do equipamento. Assim, por exemplo, correntes de trabalho mais elevadas (acima de 220 A) e ciclos de trabalho superiores a 60% recomendam a refrigeração com água.

A **fonte de gás** consiste de um cilindro do gás ou mistura de gases de proteção dotado de regulador de pressão (manômetro) e/ou vazão (fluxômetro).

Todo esse conjunto tem um custo inicial maior do que o equipamento necessário para a execução da soldagem por eletrodos revestidos. Além disso, ele também exige mais cuidados de manutenção no decorrer de sua vida útil. Isso porém é compensado pelo alto nível de produtividade proporcionado pela utilização da soldagem MIG/MAG.

#### Consumíveis e suas especificações

Como em quase todo processo de soldagem ao arco elétrico, além do equipamento, é necessário o emprego dos consumíveis.

Na soldagem MIG/MAG, os consumíveis são o eletrodo (também chamado de arame) ou metal de adição; o gás de proteção e, em alguns casos, um líquido para a proteção da tocha e das regiões adjacentes à solda contra a adesão de respingos.

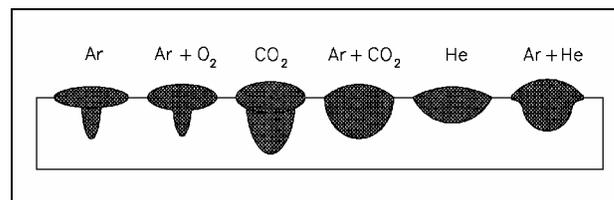
Os **eletrodos** para soldagem MIG/MAG são fabricados com metais ou ligas metálicas como aço inoxidável, aço com alto teor de cromo, aço carbono, aços de baixa liga, alumínio, cobre, níquel, titânio e magnésio. Eles apresentam composição química, dureza, superfície e dimensões controladas e normalizadas. A norma é a da AWS (American Welding Society) e a classificação para aço-carbono é feita por meio de um conjunto de letras e algarismos: **ER XXXY-ZZ**.

Nesse conjunto, temos:

- As letras **ER** são usadas sempre juntas e se referem ao consumível aplicável em processos de soldagem TIG, MIG, MAG e arco submerso.
- Os próximos dois ou três dígitos referem-se à resistência à tração mínima do metal depositado em 10<sup>3</sup> PSI.
- O dígito **Y** pode ser um **S** para arame sólido, **T** para arame tubular e **C** para arames indicados para revestimentos duros.
- O **Z** indica a classe de composição química do arame e outras características.

Deve-se reforçar ainda a importância dos cuidados necessários ao armazenamento e manuseio dos eletrodos. Eles devem ser armazenados em um local limpo e seco para evitar a umidade. Para evitar a contaminação pelas partículas presentes no ambiente, a bobina deve retornar à embalagem original quando não estiver em uso.

O tipo de gás influencia nas características do arco e na transferência do metal, na penetração, na largura e no formato do cordão de solda, na velocidade máxima da soldagem.



Os gases inertes puros são usados principalmente na soldagem de metais não-ferrosos como o alumínio e o magnésio. Os gases ativos puros ou as misturas de gases ativos com inertes são usados principalmente na soldagem dos metais ferrosos. As misturas de gases ativos com gases inertes em diferentes proporções permitem a soldagem com melhor estabilidade de arco nos metais ferrosos.

#### Transferência de metal

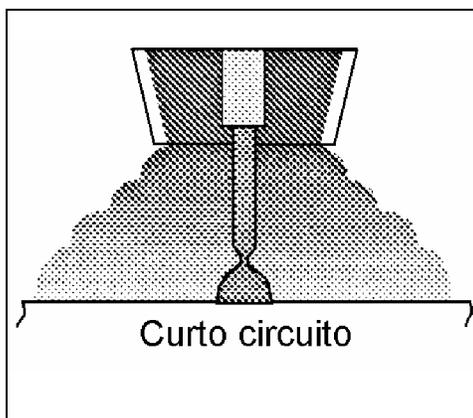
Na soldagem MIG/MAG, o metal fundido na ponta do eletrodo tem que se transferir para a poça de fusão. O modo como essa transferência acontece é muito importante. Ele é influenciado principalmente pelo valor da corrente de soldagem, pela tensão, pelo diâmetro do eletrodo, e pelo tipo de gás de proteção usado.

Por outro lado, o modo como essa transferência ocorre influi, na estabilidade do arco, na aplicabilidade em determinadas posições de soldagem e no nível de geração de respingos.

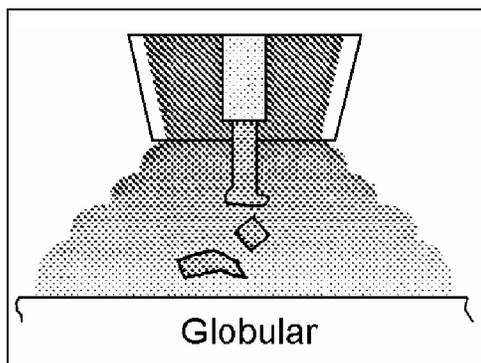
Para simplificar, pode-se dizer que a transferência ocorre basicamente de três formas básicas, a saber:

1. Transferência por curto-circuito.
2. Transferência globular.
3. Transferência por "spray", ou pulverização axial.

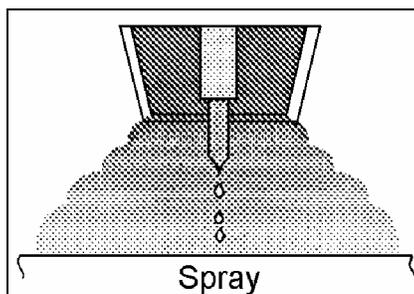
A transferência por **curto-circuito** ocorre com baixos valores de tensão e corrente. O curto-circuito acontece quando a gota de metal que se forma na ponta do eletrodo vai aumentando de diâmetro até tocar a poça de fusão. Este modo de transferência pode ser empregado na soldagem fora de posição, ou seja, em posições diferentes da posição plana. É usado também na soldagem de chapas finas, quando os valores baixos de tensão e corrente são indicados.



A transferência **globular** acontece quando o metal do eletrodo se transfere para a peça em gotas com diâmetro maior do que o diâmetro do eletrodo. Essas gotas se transferem sem direção, causando o aparecimento de uma quantidade elevada de respingos. Essa transferência, é indicada para a soldagem na posição plana.



A transferência **por spray** ocorre com correntes de soldagem altas, o que faz diminuir o diâmetro médio das gotas de metal líquido. Esse tipo de transferência produz uma alta taxa de deposição, mas é limitado à posição plana.



### Etapas, técnicas e parâmetros do processo

Para soldar peças pelo processo de soldagem MIG/MAG, o soldador segue as seguintes etapas:

1. Preparação das superfícies.
2. Abertura do arco.
3. Início da soldagem pela aproximação da tocha da peça e acionamento do gatilho para início do fluxo do gás, alimentação do eletrodo e energização do circuito de soldagem.
4. Formação da poça de fusão.
5. Produção do cordão de solda, pelo deslocamento da tocha ao longo da junta, com velocidade uniforme.
6. Liberação do gatilho para interrupção da corrente, da alimentação do eletrodo, do fluxo do gás e extinção do arco.

O número de passes é função da espessura do metal e do tipo da junta.

O estabelecimento do procedimento de soldagem deve considerar variáveis como: tensão, corrente, velocidade, ângulo e deslocamento da tocha, tipo de vazão do gás, diâmetro e comprimento da extensão livre do eletrodo ("stick out"). Essas variáveis afetam a penetração e a geometria do cordão de solda.

Assim, por exemplo, se todas as demais variáveis do processo forem mantidas constantes, um aumento na corrente de soldagem, com conseqüente aumento da velocidade de alimentação do eletrodo, causa aumento na penetração e aumento na taxa de deposição.

Sob as mesmas condições, ou seja, variáveis mantidas constantes, um aumento da tensão produzirá um cordão de solda mais largo e mais chato.

A baixa velocidade de soldagem resulta em um cordão de solda muito largo com muito depósito de material. Velocidades mais altas produzem cordões estreitos e com pouca penetração.

A vazão do gás deve ser tal que proporcione boas condições de proteção. Em geral, quanto maior for a corrente de soldagem, maior será a poça de fusão e, portanto, maior a área a proteger, e maior a vazão necessária.

O comprimento da extensão livre do eletrodo é a distância entre o último ponto de contato elétrico e a ponta do eletrodo ainda não fundida. Ela é importante porque, quanto maior for essa distância, maior será o aquecimento do eletrodo (por causa da resistência elétrica do material) e menor a corrente necessária para fundir o arame.

O quadro a seguir mostra problemas comuns de soldagem, suas causas e medidas corretivas.

Tipos de descontinuidade	Causas	Prevenções
Poros Visíveis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Velocidade de soldagem muito alta.</li> <li>2. Distância excessiva entre bocal e peça.</li> <li>3. Tensão (voltagem) alta.</li> <li>4. Metal de base sujo de óleo, tintas, oxidação ou molhado.</li> <li>5. Corrente de ar.</li> <li>6. Fluxo de gás incorreto.</li> <li>7. Arames e guias sujos.</li> <li>8. Respingos de solda no bocal.</li> <li>9. Vazamento nas mangueiras e na tocha.</li> <li>10. Preparação inadequada de junta.</li> <li>11. Preparação inadequada de junta.</li> <li>12. Metal de base impuro ou defeituoso.</li> <li>13. Tocha muito inclinada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diminuir a velocidade de soldagem.</li> <li>2. Manter a distância correta entre o bocal e a peça.</li> <li>3. Reduzir a tensão (voltagem) caso ela esteja alta.</li> <li>4. Limpar o metal de base por meios apropriados, antes da soldagem.</li> <li>5. Proteger as peças de corrente de ar, para não prejudicar a proteção gasosa.</li> <li>6. Regular a vazão de gás: se a vazão de gás estiver baixa, aumente para proteger a poça de fusão; se a vazão estiver alta, é melhor reduzir para evitar turbulência. (8 a 101/min - arco curto e 12 a 201/m - arco longo).</li> <li>7. Limpar a guia com ar comprimido; usar sempre arames isentos de graxa, resíduos ou umidade.</li> <li>8. Limpar os respingos de solda do bocal, que podem alterar o fluxo de gás, provocando turbilhonamento e aspiração de ar.</li> <li>9. Verificar sempre as mangueiras, conexões, juntas e pistola para evitar aspiração de ar pelo furo.</li> <li>10. Dimensionar a rede adequadamente.</li> <li>11. Obter uma abertura constante e dentro dos limites da posição de trabalho.</li> <li>12. Rejeitar o metal de base.</li> <li>13. Posicionar a tocha corretamente.</li> </ol>

## Continuação:

Falta de Penetração ou de Fusão na Raiz.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abertura muito pequena ou mesmo inexistente, ou abertura irregular.</li> <li>2. Ângulo do chanfro muito pequeno.</li> <li>3. Presença de "nariz" ou "nariz" muito grande.</li> <li>4. Falha no manuseio da tocha.</li> <li>5. Falta de calor na junta.</li> <li>6. Passe de raiz com convexidade excessiva.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ser caprichoso na preparação da junta a soldar e realizar a montagem, respeitando sempre a fresta mínima em função do chanfro e da posição de soldagem.</li> <li>1. Procurar tornar a fresta a mais constante possível, através de um potenciamento adequado.</li> <li>2. Utilizar ângulo entre 40 e 60°.</li> <li>3. Verificar se é realmente necessária a existência de "nariz".</li> <li>3. Procurar tomar o "nariz" o mais constante possível e sempre menor do que o máximo permitido para o tipo de chanfro e posição de soldagem definidos.</li> <li>4. Quando for necessário, parar a soldagem antes do término do cordão de raiz e realizar as retomadas / reacendimentos de forma correta.</li> <li>5. Aumentar o par tensão X velocidade do arame (amperagem).</li> <li>5. Reduzir a velocidade de soldagem pois ela pode estar muito alta, porém é preferível manter o arco na frente da poça de fusão.</li> <li>5. Preaquecer a peça de trabalho.</li> <li>5. Soldar em posição vertical ascendente.</li> <li>6. Esmerilhar o passe de raiz, obtendo certa concavidade em sua superfície antes de executar o novo cordão.</li> </ol>
Superfície Irregular	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Velocidade inadequada do arame (amperagem).</li> <li>2. Manuseio incorreto da tocha.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ajustar a velocidade do arame.</li> <li>2. Aprimorar o manuseio da tocha para que o tecimento seja cadenciado e constante.</li> </ol>
Desalinhamento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pré-montagem mal executada.</li> <li>2. Ponteamento deficiente.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ser caprichoso na preparação da junta a soldar.</li> <li>2. Realizar um ponteamento, com soldas de fixação resistentes e dimensionadas de acordo com as partes a unir.</li> </ol>
Respingos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tensão muito elevada.</li> <li>2. Vazão de gás excessiva</li> <li>3. Sujeira no metal de base.</li> <li>4. Avanço do arame alto ou baixo em relação à tensão do arco.</li> <li>5. Distância excessiva entre o bocal e a peça.</li> <li>6. Altura excessiva do arco.</li> <li>7. Controle inadequado da indutância.</li> <li>8. Posição inadequada da tocha.</li> <li>9. Mau contato entre cabos e peças.</li> <li>10. Bico de contato danificado.</li> <li>11. Bocal com respingos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduzir a tensão.</li> <li>2. Regular a vazão do gás.</li> <li>3. Limpar o metal de base, eliminando tintas, óxidos, graxas e outras impurezas que provocam isolamento entre o arame e o metal de base.</li> <li>4. Regular o avanço do arame.</li> <li>4. Controlar a condição ideal pelo tamanho/volume da gota na ponta do arame, que deve ter aproximadamente o mesmo diâmetro do arame.</li> <li>5. Manter a distância correta entre o bocal e a peça.</li> <li>6. Reduzir a altura do arco.</li> <li>7. Controlar a indutância adequadamente.</li> <li>8. Usar a técnica de arco quente (aramé sobre a poça de fusão) para melhorar a estabilidade do arco e reduzir os respingos. Não inclinar muito a tocha e procurar manter, onde for possível, o arco perpendicular à linha da solda.</li> <li>9. Limpar as superfícies de contato a fim de evitar instabilidade no arco.</li> <li>10. Trocar o bico de contato.</li> <li>11. Limpar ou trocar o bocal com respingo.</li> </ol>

Como você pôde perceber a soldagem MIG/MAG é um processo bastante versátil em termos de aplicabilidade às mais variadas ligas metálicas e espessuras de material, podendo ser usada em todas as posições. Além disso, por ser semi-automática, ele apresenta uma produtividade muito elevada. Isso a torna uma alternativa bastante viável quando comparada à soldagem com outros processos.

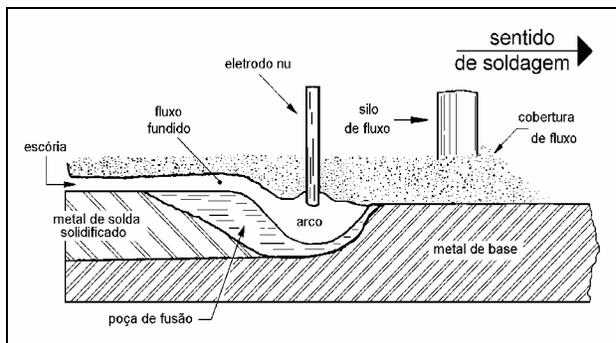
Por todos esses motivos, preparamos esta aula para você. Não se esqueça de que ainda há muito o que aprender. Se o assunto pareceu interessante, procure ler mais sobre ele. Você só tem a ganhar, porque o profissional que sabe mais tem o futuro nas mãos.

## Protegendo a solda

Nos processos de soldagem por fusão, o fato de se usar calor torna inevitável a presença de modificações tanto na estrutura quanto na superfície do material que está sendo soldado. Isso traz como consequência a modificação das propriedades mecânicas da junta soldada.

Portanto, um dos desafios tecnológicos da soldagem é justamente diminuir o mais possível esses fenômenos, de modo que a peça possa apresentar todas as características necessárias para seu uso de maneira mais produtiva possível.

Vamos estudar um processo de soldagem por fusão chamado soldagem ao arco submerso. Nele, a união entre os metais acontece por aquecimento e fusão obtidos por meio de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico sem revestimento e a peça que se quer soldar. A grande "sacada" desse método é que o arco se forma sob uma camada protetora de material granular, ou seja, em forma de grãos, chamado de fluxo e que é colocada sobre a região da solda. Essa proteção impede a contaminação da solda pela atmosfera.



Uma vez aberto o arco, tanto o eletrodo quanto o fluxo são alimentados continuamente para a região do arco enquanto a tocha é deslocada. O eletrodo, parte da camada de fluxo e o metal de base fundem sob o calor do arco formando a poça de fusão.

O cordão de solda é formado pelo metal fundido solidificado. A parte fundida do fluxo forma uma camada de escória que protege o cordão da solda e que é facilmente removível. A parte do fluxo que não se funde pode ser reutilizada em novas operações.

A soldagem por arco submerso é um processo estável que gera poucos fumos de soldagem e quase nenhum respingo. Como resultado são obtidos cordões uniformes com bom acabamento. As soldas resultantes apresentam boas propriedades mecânicas.

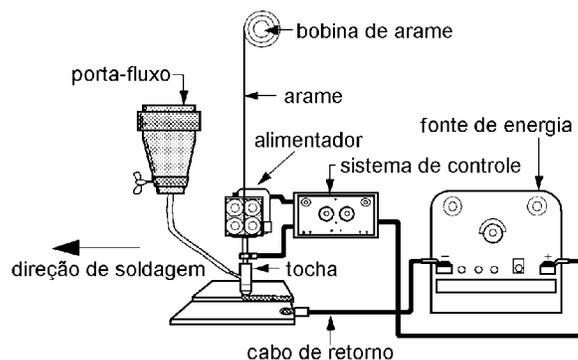
As principais vantagens desse processo são o rendimento, pois não há praticamente perdas por respingos, e a alta taxa de deposição. É um processo rápido, pois exige apenas um terço do tempo normalmente necessário para outros processos, e econômico, por causa de sua alta produtividade. Os cordões de solda obtidos são de alta qualidade.

A principal limitação do processo é a posição de soldagem, ou seja, ela pode ser realizada apenas nas posições plana e horizontal, quando se trata de soldagem em juntas de ângulo.

A soldagem ao arco submerso é utilizada em estaleiros, caldeirarias de médio e grande porte, mineradoras, siderúrgicas e fábricas de perfis e estruturas metálicas, principalmente em trabalhos com aço-carbono, carbono-manganês, aços de baixa liga e aços inoxidáveis. Pode também ser empregado no revestimento e recuperação de peças desgastadas, com a deposição de metais resistentes à oxidação e ao desgaste.

## Equipamentos necessários

Para realizar soldagem ao arco submerso, são necessários os seguintes equipamentos:



- uma fonte de energia,
- uma tocha de soldagem,
- um sistema alimentador
- de eletrodo,
- um sistema de controle,
- dispositivos para alimentação
- e recuperação de fluxo.

A fonte de energia para a soldagem ao arco pode ser de três tipos:

- transformador (CA),
- transformador-retificador (CC),
- motor-gerador (CC).

Os diferentes tipos de correntes fornecidos pelas fontes produzem tipos diferentes de cordões de solda, a saber:

1. A corrente contínua (CC) possibilita a melhor abertura do arco e permite melhor controle da forma do cordão, da profundidade de penetração e da velocidade de soldagem.
2. A corrente contínua com eletrodo positivo (CC+) permite maior penetração e controle do cordão.
3. A corrente contínua com eletrodo negativo (CC-) é a que fornece a maior taxa de deposição, por isso é ideal para revestimentos e soldagem de chapas finas.
4. A corrente alternada (CA) tem uma penetração intermediária entre os dois tipos de polaridade da corrente contínua. Além disso, a corrente alternada minimiza o sopro magnético.

A tocha de soldagem tem um bico de contato deslizante, feito de cobre e ligas, responsável pela energização do eletrodo. Ela tem, também, um sistema para fixação do cabo de saída da fonte e um suporte isolante.

O sistema de alimentação do eletrodo é formado por um suporte para a bobina do eletrodo, um motor de corrente contínua com controle de velocidade e um conjunto de roletes de alimentação. Esse sistema é muito importante para a qualidade da soldagem porque o deslocamento da tocha é independente e não há como detectar falha na soldagem durante o processo, já que a solda fica coberta pelo fluxo.

A alimentação do fluxo é feita por um conjunto formado por um porta-fluxo, mangueiras condutoras e um bocal de saída. A recuperação do fluxo é feita por dispositivos que aspiram os grãos não fundidos e os devolvem ao porta-fluxo.

O alimentador de eletrodo, o alimentador de fluxo e a tocha de soldagem são montados no cabeçote de soldagem, ou seja, um carro acionado por um motor elétrico, com velocidade ajustável que se desloca sobre um trilho colocado em um suporte.

### Eletrodos e fluxos de soldagem

A combinação do metal de base com o procedimento de soldagem, o eletrodo e o fluxo de soldagem adequados determina as propriedades mecânicas do cordão de solda.

Normalmente, os eletrodos para soldagem ao arco submerso são arames sólidos, fornecidos em carretéis e bobinas, com diâmetros que variam entre 1,6 e 6,4 mm. Eles permitem soldagem com elevadas densidades de corrente, dependendo do tipo e quantidade de soldas a realizar. Eles são produzidos por trefilação e podem ser revestidos superficialmente com cobre. Em aplicações especiais, eles podem ter a forma de fita ou de tubo.

A especificação dos arames pode ser feita de acordo com a composição química. Por essa classificação, os arames-eletrodos são divididos em três grupos: baixo (L), médio (M) e alto (H) teor de manganês.

Além disso, os eletrodos de cada grupo podem apresentar diferentes teores de carbono e altos ou baixos teores de silício. Os eletrodos com maiores teores de carbono, manganês e silício produzem cordões com maior resistência e dureza. Os eletrodos com maior teor de silício são adequados para os cordões obtidos com elevadas velocidades de soldagem, porque o silício aumenta a fluidez da poça de fusão.

A soldagem ao arco submerso não pode ser realizada sem o fluxo de soldagem que, como já vimos, recobre o arco, protegendo a solda da contaminação atmosférica. Assim, no processo, ele tem ainda outras funções, a saber:

1. estabilizar o arco;
2. fornecer elementos de liga ao metal de solda;
3. minimizar a ação das impurezas no metal de solda;
4. formar escória com propriedades físicas e químicas capazes de influenciar nas características do cordão de solda.

O outro consumível indispensável para a realização da soldagem ao arco submerso é o fluxo. O fluxo de soldagem é um composto granuloso formado por uma mistura de óxidos e outros minerais e, eventualmente, ferro-ligas.

Dependendo da quantidade relativa de óxidos presentes no fluxo, ele pode ser classificado como ácido, neutro ou básico. De um modo geral, os fluxos mais básicos tendem a reduzir os teores de oxigênio, enxofre e fósforo no metal depositado, o que melhora as propriedades mecânicas, como a resistência à fratura frágil. Os fluxos também podem ser classificados de acordo com sua capacidade de alterar a composição química do metal da solda. Nesse caso, eles são classificados em ativos ou neutros.

O tamanho da partícula que compõe o fluxo é um dado importante, porque ele afeta o nível de corrente usada. Em geral, uma corrente mais alta é usada com um fluxo mais fino a fim de que se obtenha um arco estável e soldas mais largas e planas. Outras variáveis que influenciam na escolha do tamanho da partícula são o tipo do fluxo, a velocidade de soldagem e o tipo de solda que se quer obter.

A escolha de um fluxo é sempre feita em combinação com a escolha do arame eletrodo. Essa combinação é que define as propriedades finais do metal depositado. Ambos são especificados de acordo com normas da AWS (American Welding Society): a A 5.17-80 (para eletrodos de aço doce e fluxos compatíveis) e a A 5.23-80 (para eletrodos de aço de baixa liga e fluxos correspondentes).

### Parâmetros e etapas do processo

A soldagem ao arco elétrico sempre pressupõe a consideração de uma série de parâmetros. Com a soldagem ao arco submerso, não poderia ser diferente.

Durante as várias fases do processo, é necessário compatibilizar todas as variáveis envolvidas. Assim, por exemplo, na fase de projeto, tomam-se em consideração o tipo e espessura do metal de base e as propriedades requeridas para a junta soldada.

Na fase de produção, consideram-se o tipo de equipamento disponível, o projeto da junta, o posicionamento da peça e do eletrodo. São muito relevantes, também, os parâmetros primários tais como: corrente, tensão, velocidade de soldagem, polaridade, combinação eletrodo-fluxo, diâmetro do eletrodo, distância entre o bico e a ponta do eletrodo ou extensão livre do eletrodo, distribuição e altura da camada de fluxo.

Uma vez estabelecidos esses parâmetros, passa-se à realização da soldagem propriamente dita que envolve as seguintes etapas:

1. Preparação da junta que necessita de uma limpeza adequada no material a soldar. Além disso, poderá haver necessidade de preparação do chanfro, de cobre-junta e de chapas para a abertura e extinção do arco.
2. Alinhamento da direção de deslocamento do equipamento com a direção da junta.
3. Posicionamento do cabeçote no local de início da operação.
4. Abertura do arco.

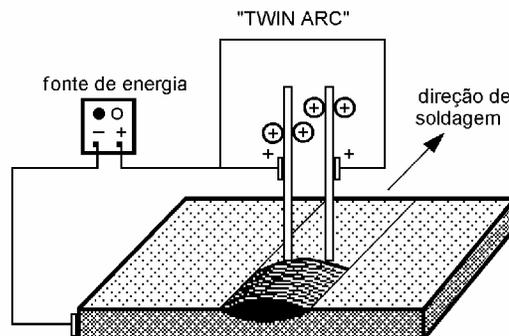
### Dica tecnológica

Na abertura do arco, é importante evitar a sobrecarga na fonte (quando se usa fonte do tipo corrente constante) ou o agarramento do eletrodo na poça de fusão. Para isso, pode-se facilitar a abertura do arco por meio da colocação de uma pequena quantidade de lâ de aço entre o eletrodo e a peça. O ideal é usar equipamentos dotados de sistemas especiais para a abertura do arco.

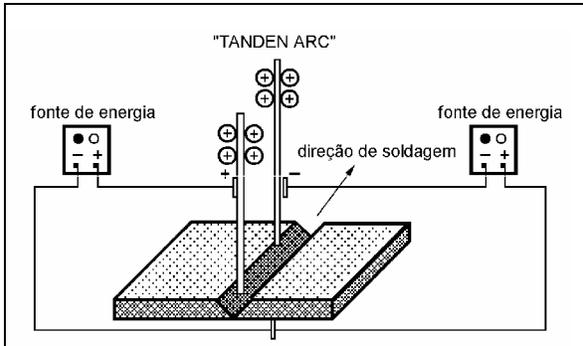
5. Supervisão da operação, por parte do operador. Isso inclui a verificação e eventual correção dos parâmetros de soldagem e do alinhamento do cabeçote.
6. Extinção do arco.
7. Limpeza da camada de escória e preparação para a deposição dos passes seguintes, se for o caso.

A fim de aumentar a produtividade e facilitar operações específicas existem variantes do processo de soldagem ao arco submerso. São elas:

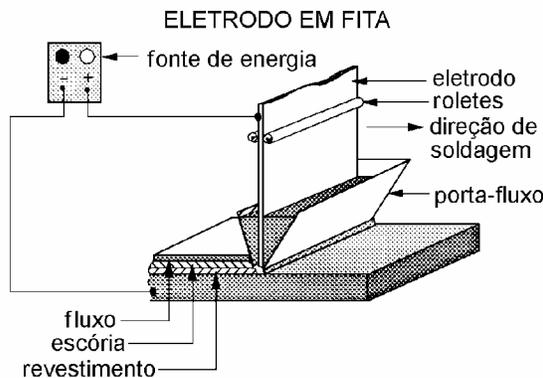
**Twin arc** (que quer dizer arcos gêmeos) trabalha com um ou mais eletrodos, usando uma ou mais fontes de energia soldando simultaneamente. Essa variante fornece menor penetração, baixa diluição e alta taxa de deposição. É empregado na execução de revestimentos e soldagem de chanfros largos com mata-junta.



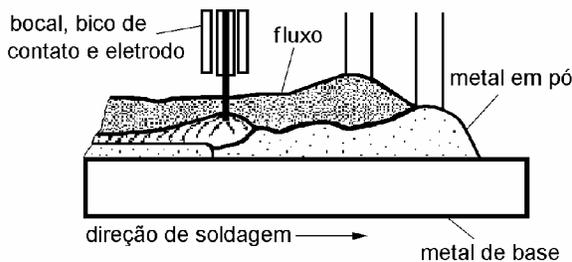
"Tandem arc" ( que quer dizer arcos em série) usa dois ou mais eletrodos soldando em linha e simultaneamente e cada um tem sua fonte de energia e controles separados. Devido aos problemas criados por efeito de campos magnéticos, os eletrodos "rebocados" possuem fontes de CA. Assim, é comum que o eletrodo "guia" trabalhe com CC+, que garante melhor penetração, e que os demais eletrodos trabalhem com CA, o que garante o enchimento e o melhor acabamento do cordão.



**Eletrodo em fita** é a variante na qual o eletrodo é substituído por uma fita metálica de 0,5 mm de espessura e 30 a 120 mm de largura. Nela, a diluição é muito baixa e o cordão de solda tem aproximadamente a largura da fita. Esse fato indica o processo para revestimento de grandes áreas.



**Adição de pó metálico** é a variante na qual uma camada de pó de ferro (mais comum) é depositada antes do fluxo com a função de aumentar a taxa de deposição. Nessa variante, o arco elétrico funde o arame-eletrodo, o metal de base e o pó, formando uma junta única.



Outras variantes são a soldagem com elevado "stick out", que permite aumentar a taxa de deposição através do efeito Joule, e a soldagem em chanfro estreito ("narrow gag"), que permite a soldagem de componentes de grande espessura com pequena abertura de raiz e ângulo de soldagem com inclinação entre 5 e 10o com o uso de cabeçotes especiais.

## Soldagem por Resistência

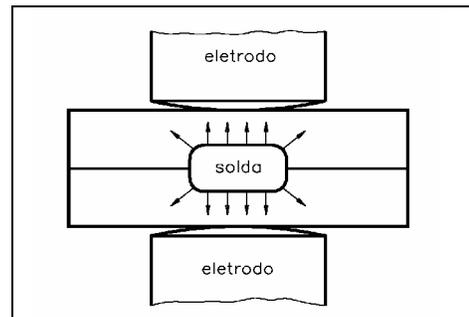
A soldagem por resistência é um dos métodos mais versáteis de união de metais que existe. Essa versatilidade se refere ao tipo de peças a serem soldadas, com relação a espessura, formato, materiais etc. Refere-se, também, ao equipamento que, com pequenas alterações, pode ser adaptado à soldagem de diferentes tipos de peças.

Mas, o que é exatamente a soldagem por resistência? Uma das primeiras coisas a aprender em relação a esse processo, é que o calor gerado não vem de uma fonte como um arco elétrico ou a chama de um gás. Basicamente, é um processo de soldagem baseado na pressão e na resistência elétrica.

Vamos trocar isso em miúdos: a soldagem por resistência compreende um grupo de processos pelos quais a união das peças acontece em superfícies sobrepostas ou em contato topo a topo, por meio do calor gerado pela resistência à passagem da corrente elétrica (Efeito Joule) e pela aplicação de pressão.

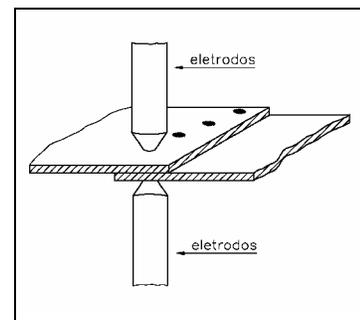
**Efeito Joule** é o resultado da transformação da energia elétrica em energia térmica. É pelo efeito Joule que a resistência do chuveiro aquece a água do nosso banho.

Esse fenômeno acontece da seguinte maneira: um par de eletrodos conduz a corrente elétrica até a junta; a resistência que a junta, ou as partes a serem soldadas oferecem à passagem da corrente elétrica gera o aquecimento das superfícies em contato da junta, formando a solda. O aquecimento provoca uma pequena fusão das peças a serem unidas. A aplicação da pressão garante a continuidade do circuito elétrico. Ela também permite a obtenção de soldas com baixo nível de contaminação, porque a união das partes impede a contaminação proveniente da atmosfera.

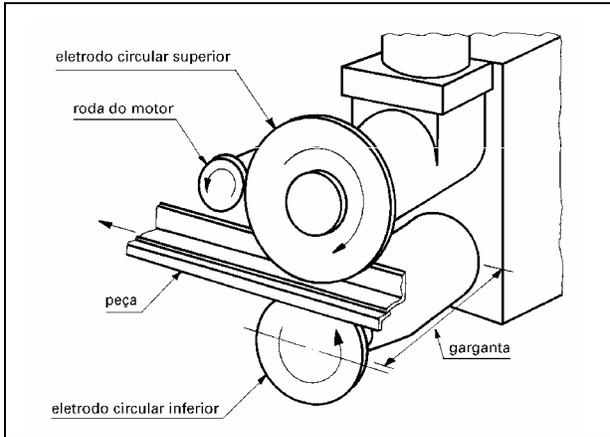


Como já foi dito antes, esse princípio está presente em um grupo de processos de soldagem, ou seja, todos eles envolvem a aplicação coordenada de pressão e passagem de corrente elétrica com intensidade e duração adequadas. Os processos mais comuns de soldagem por resistência são:

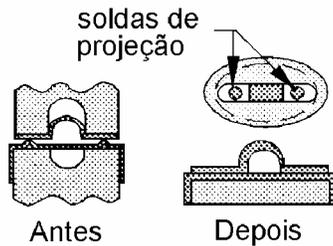
A **soldagem por pontos**, na qual as superfícies são unidas por um ou mais pontos pelo calor gerado pela resistência à corrente elétrica que passa através das peças mantidas em contato por pressão. Essa região é aquecida por um reduzido espaço de tempo, enquanto dura a passagem da corrente. Quando ela cessa, a pressão é mantida enquanto o metal se solidifica. Os eletrodos são afastados da superfície depois que se obtém cada ponto.



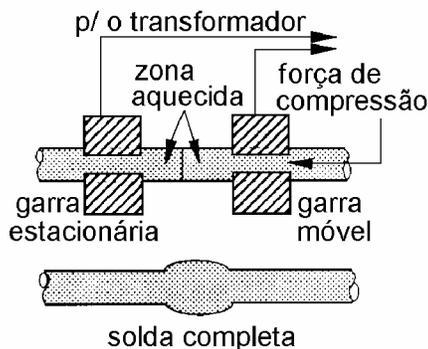
A **soldagem por costura**, na qual dois eletrodos circulares, ou um eletrodo circular e outro em barra transmitem a corrente combinada com a pressão e produzem a costura de solda que, por sua vez, consiste em uma série de pontamentos sobrepostos. A série de pontos de solda é obtida sem a retirada dos eletrodos, embora também seja possível avançar os eletrodos de forma intermitente.



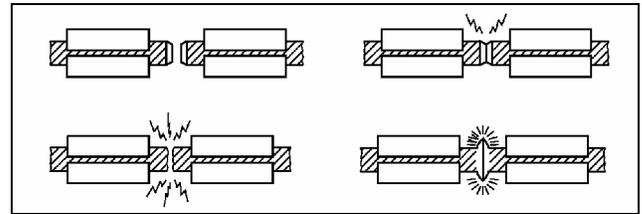
A **soldagem por projeção**, que é semelhante à soldagem por pontos, ocorre em uma parte de uma das peças, na qual existe uma projeção ou saliência obtida por meio de estampagem ou forjamento. Esse processo é empregado em chapas finas (entre 0,5 e 3,2 mm),



A **soldagem de topo**, que apresenta duas variantes: por resistência e por centelhamento. Na soldagem de topo por resistência, a união é produzida em toda a área de contato das partes a serem soldadas. As duas partes são pressionadas uma contra a outra até que o calor gerado pela passagem da corrente seja suficiente para que a união ocorra.



Na soldagem por centelhamento, a união é feita também em toda a área de contato entre as partes a serem soldadas. A diferença está no fato de que as peças são previamente energizadas, e suas faces são aproximadas até que ocorra o centelhamento. Esse processo é repetido até que a temperatura de forjamento seja atingida. Então as faces são pressionadas fortemente uma contra a outra, gerando uma considerável deformação plástica, que consolida a união.



Os processos de soldagem por resistência permitem a soldagem de diferentes metais cuja soldabilidade é controlada pela **resistividade**, pela **condutividade térmica**, pela **temperatura de fusão** e por suas características metalúrgicas. Assim, metais com elevada resistividade, baixa condutividade térmica e ponto de fusão também relativamente baixo, como as ligas não-ferrosas, são facilmente soldáveis por esses processos. Além disso, as características metalúrgicas também devem ser levadas em consideração. Por exemplo, certos aços, como aqueles com maior teor de carbono, podem necessitar de tratamentos térmicos após a soldagem para ajuste de suas propriedades mecânicas.

**Resistividade** é a resistência específica, ou seja, a resistência elétrica de um corpo de seção transversal uniforme com área unitária.

O quadro da a seguir resume as aplicações, vantagens e desvantagens de cada um desses processos.

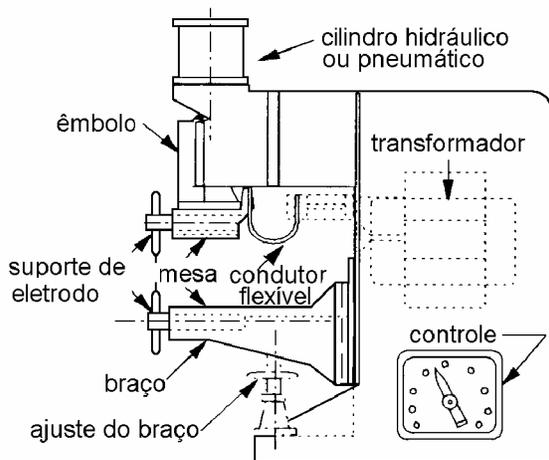
Anotações:

Processo	Aplicações/Materiais	Vantagens	Desvantagens
Por pontos	União de chapas de até 3mm, de aço-carbono, aço inoxidável, alumínio, cobre, magnésio, níquel e ligas.	Alta velocidade de soldagem e facilidade de automação. Menor exigência quanto à habilidade do soldador.	Aumento de consumo de material e de peso por causa da sobreposição da junta. Menor resistência à tração e à fadiga.
Por costura	Juntas contínuas impermeáveis a gases e líquidos em tanques de combustíveis de autos, cilindros de extintores, tubos.	Menor largura da solda e menor sobreposição em relação à soldagem por pontos ou por projeção.	As soldas devem ser retas ou com curvaturas constantes. Comprimento das juntas longitudinais é limitado pelo percurso da máquina. Menor resistência à fadiga.
Por projeção	União de pequenas peças estampadas, forjadas ou usinadas de aço-carbono, aço inoxidável e ligas de níquel.	Possibilidade de produção de várias soldas simultâneas em um único ciclo.	O formato das projeções pode exigir mais uma operação. Em soldagens múltiplas, necessidade de controle preciso da altura e do alinhamento das peças para igualar a pressão e a corrente de soldagem.
De topo por resistência	União de arames, tubos, anéis e tiras de mesma seção transversal.		Impossibilidade de bom contato em peças de grande seção ou com formatos irregulares.
De topo por centelhamento	Barras, trilhos e tubos para oleodutos e gasodutos.	Possibilidade de soldagem de peças de formato irregular e complicado ou de grande seção.	Intenso centelhamento e conseqüente necessidade de proteção do operador e de partes do equipamento.

### Equipamentos

No processo de soldagem por resistência, o equipamento é basicamente constituído por:

1. Sistema elétrico;
2. Sistema mecânico;
3. Sistema de controle.



O **sistema elétrico** consiste de uma fonte de energia, eletrodos e conexões. As **fontes de energia** mais eficientes são as formadas por um transformador de corrente contínua e um circuito retificador trifásico que apresentam menor consumo com capacidade mais elevada. Nas máquinas de soldagem por centelhamento, o sistema elétrico apresenta, ainda, um dispositivo para provocar o centelhamento entre as peças a serem unidas.

Os **eletrodos** são feitos de materiais que se caracterizam por elevada condutibilidade térmica e elétrica, por baixa resistência de contato para prevenir a queima das superfícies de contato, e por resistência mecânica suficiente para resistir à deformação decorrente da alta pressão mecânica e da alta temperatura de operação. Os materiais com essas características são as ligas à base de cobre.

Na soldagem por costura, os eletrodos são circulares, em forma de discos, que permitem a formação de pontos de solda sobrepostos, de modo a produzir uma solda contínua.

Nos processos de soldagem por resistência, os eletrodos não são consumíveis. Porém, são peças que se desgastam e devem ser substituídas sempre que necessário.

O **sistema mecânico** é composto por um chassi que suporta o transformador e os outros componentes dos sistemas elétrico e de controle, e por dispositivos para a fixação das peças e aplicação de pressão.

A aplicação de pressão pode ser feita de duas formas:

- manualmente, por meio de um motor elétrico, quando a produção é variável e há necessidade de alterar as condições ou os parâmetros da soldagem,
- por meio de dispositivos pneumáticos ou hidráulicos, nos sistemas automatizados nos quais a produção é homogênea e não necessita de ajustes.

### Parâmetros, variáveis e etapas do processo

Como em todo o processo de soldagem, a realização da soldagem por resistência deve considerar uma série de variáveis. As mais importantes são:

1. Corrente de soldagem, que deve ter um valor mínimo, por sua vez, dependente da área de contato entre os eletrodos em relação as peças e das peças entre si, do material a ser soldado e de sua espessura.
2. Resistência elétrica do circuito de soldagem que corresponde à soma das resistências dos eletrodos, do contato eletrodo-peça, da resistência interna das peças e do contato entre as peças.
3. Formato e preparação dos eletrodos e a força exercida neles. Embora isso não exerça influência no calor gerado, quanto maior for a força aplicada, maior será o contato e menor será a resistência na interface peça-peça. Por outro lado, a aplicação de uma força muito pequena causa flutuação na qualidade dos pontos obtidos devido à flutuações na resistência de contato.

Em trabalhos em série, é muito importante a uniformidade das condições de soldagem. Variações nas condições das superfícies das peças ou na força aplicada podem causar defeitos nas soldas.

A escolha dos parâmetros de soldagem é feita em função do material e da espessura das peças a serem unidas. Os parâmetros típicos estão reunidos em tabelas encontradas em manuais especializados.

Atualmente, os equipamentos para soldagem por resistência estão em constante evolução o que permite a introdução de novos métodos de controle de parâmetros. Isso permite um melhor nível de controle do processo e crescente automação das etapas de soldagem.

Como o processo de soldagem por resistência engloba um grupo de variantes, vamos apresentar como exemplo, as etapas específicas da soldagem por centelhamento. Elas são:

1. Aproximação inicial e contato entre as peças para pré-aquecimento por efeito Joule;
2. Afastamento e reaproximação das peças para início do centelhamento;
3. Manutenção do centelhamento com aproximação progressiva das peças;
4. Compressão final das peças, quando as superfícies em contato sofrem deformação plástica;
5. Interrupção da passagem da corrente elétrica.

Depois da última etapa, a junta soldada pode passar por um tratamento térmico por meio de aquecimento gerado pela passagem de uma corrente elétrica de valor inferior àquela usada para pré-aquecimento e para soldagem.

### O robô industrial

É impossível falar em automação do processo de soldagem sem se referir a um tipo muito especial de máquina: o robô industrial. Mas o que é um robô industrial, afinal de contas?

Os livros e filmes de ficção científica transformaram os robôs em seres criados à imagem e semelhança do homem, normalmente por um cientista louco e que, quase sempre, revoltavam-se contra seu criador, acabando por destruí-lo. Uma idéia bastante aterrorizante. Outras vezes, eram máquinas inteligentes e engraçadinhas, que andavam com pernas ou esteiras, apitando e piscando luzinhas coloridas.

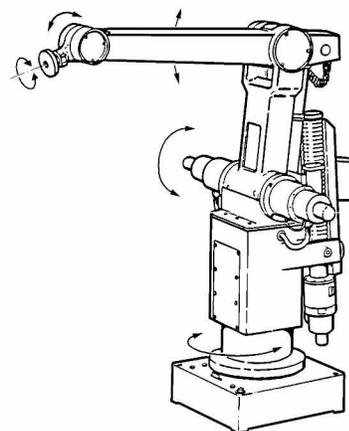
Talvez isso o decepcione um pouco: nenhuma das idéias transmitidas pelos escritores de ficção científica ou pelos diretores dos filmes futuristas que você já viu, corresponde ao que é, na realidade, um robô. Pelo menos ao robô encontrado nas indústrias, limitado em sua inteligência e desempenho pela tecnologia atual, ainda distante da imaginação dos roteiristas dos filmes da série **Guerra nas Estrelas**.

Robôs industriais são máquinas controladas por computador e destinadas a realizar uma grande variedade de tarefas. Ou seja, são máquinas flexíveis, adaptáveis a serviços diferentes, bastando que para isso mudemos a ferramenta com que ela trabalha e seu programa (um tipo de "receita de bolo" que diz ao robô, passo a passo como a tarefa deve ser feita, numa linguagem que ele seja capaz de entender).

Assim, um mesmo robô pode ser capaz de pintar gabinetes de máquinas de lavar roupa com uma pistola de pintura a ar comprimido, rebarbar peças numa fundição ou soldar estruturas de automóveis numa linha de montagem. Basta que mudemos seu programa de operação e a ferramenta que ele deve segurar.

Por exemplo: um tipo de robô industrial, conhecido como robô articulado ou angular pode ser visto na figura a seguir.

Ele é composto por uma série de peças (corpo, braço, antebraço etc.) articuladas e acionadas por motores elétricos. O conjunto de posições de cada peça num certo momento determina a posição da extremidade (ou punho) do robô onde é fixada a ferramenta com a qual ele irá trabalhar. Para cada motor elétrico que aciona cada parte do robô, existe pelo menos um sensor de posição que detecta a localização de cada uma daquelas peças.



Os motores e os sensores estão ligados ao computador que controla o robô. Por meio do programa, o computador compara as ordens que você deu ao robô com a sua posição atual, conhecida por intermédio dos sensores. Se a posição em que o robô se encontra é diferente daquela que você desejava, o computador se encarrega de realizar as correções necessárias.

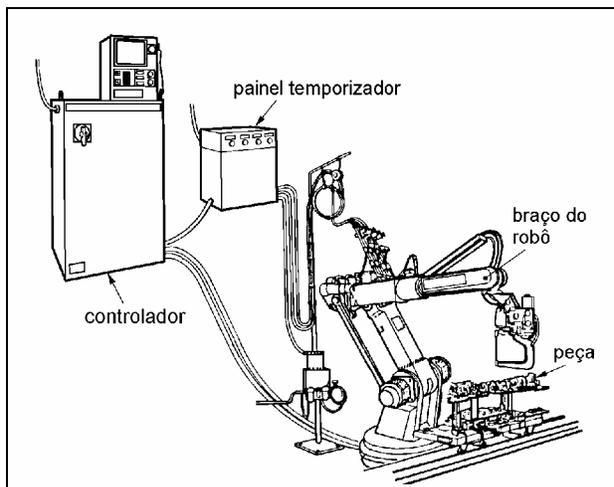
### Os robôs soldadores

O primeiro robô industrial apareceu por volta de 1960. Suas primeiras tarefas foram as de carregar e descarregar peças em máquinas. Entretanto, o tempo mostrou que esta não seria a ocupação mais importante dessas máquinas, e a soldagem se tornou seu principal campo de aplicação. Vários fatores contribuíram para que isso acontecesse:

- Os postos de soldagem apresentam um ambiente inseguro e pouco confortável ao trabalho humano, pois nele estão presentes as radiações térmica e luminosa, os gases e as fagulhas metálicas.
- Em muitas operações de soldagem, o soldador é obrigado a manejar equipamentos e colocar-se em posições desconfortáveis para que possa efetuar a tarefa num ponto específico da peça.
- A repetição constante de um mesmo tipo de tarefa leva o soldador à fadiga física e compromete a qualidade do serviço. Num robô, ao contrário, a repetibilidade e precisão dos movimentos é constante durante toda sua vida útil.

A figura a seguir mostra um robô equipado com uma pistola de soldagem MIG. Observe que ele está cercado por uma série de equipamentos necessários à realização de seu trabalho. Chamamos o conjunto formado por todos esses equipamentos de célula de produção.

Nesta figura, podemos ver o equipamento de solda MIG com o alimentador automático de arame de solda, o dispositivo de fixação da peça a ser soldada – cujos movimentos também são, geralmente, controlados por computador –, e o computador que controla o robô. Além disso, temos uma cerca de proteção que isola a área de trabalho, protegendo o pessoal de operação e manutenção que, acidentalmente, poderia entrar na área de alcance da máquina durante sua operação automática.



### Afinal, prá que computador?

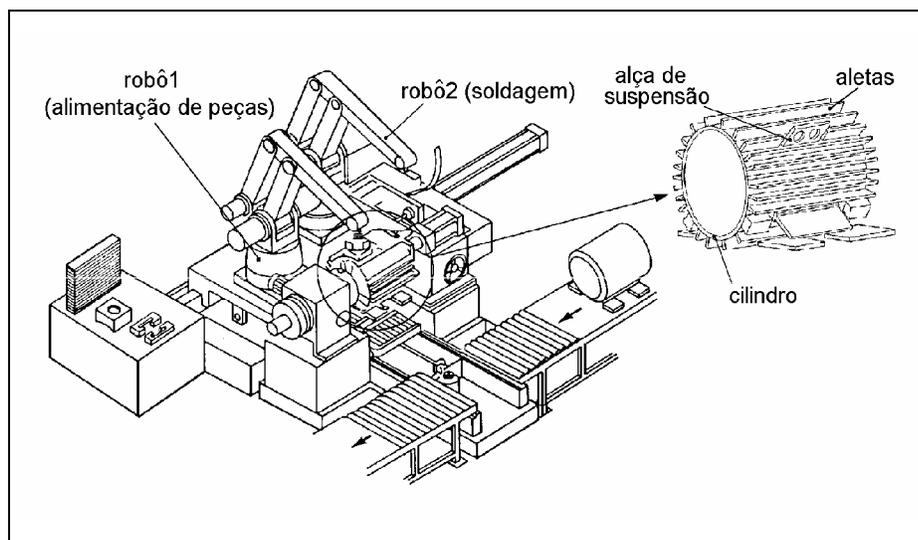
Nos primeiros robôs industriais desenvolvidos na década de 60, a seqüência de movimentos era controlada por meio de relés e chaves fim-de-curso. Esses recursos da eletricidade e da eletrônica limitavam tanto a velocidade quanto a quantidade e precisão de operações e movimentos que o robô podia fazer.

Atualmente, utilizam-se computadores com grande capacidade de armazenamento de dados e elevada velocidade de realização de cálculos matemáticos. Esses computadores permitem que os robôs tenham mais movimentos e possam executá-los com um grau de precisão da ordem de  $\pm 0,05$  mm. Ainda é uma precisão pobre quando a comparamos com as necessárias em operações de usinagem, porém é considerada satisfatória nas operações típicas de robôs como soldagem e pintura.

Na soldagem ao arco elétrico, por exemplo, esses computadores controlam os movimentos do robô, de modo que este mantenha uma distância constante entre o eletrodo e a peça, assegurando a formação de um arco voltaico satisfatório. Além disso, controlam as velocidades do braço do robô e de alimentação do arame do eletrodo, de modo que garanta um cordão de solda de boa qualidade.

Se não bastasse tudo isso, o computador ainda "toma conta" dos outros equipamentos que fazem parte da célula de produção e, muitas vezes, se comunica com os computadores que controlam outros robôs de modo que todos eles possam trabalhar em harmonia, sem riscos de colisões e com o máximo aproveitamento de sua capacidade produtiva.

Vejamos um exemplo: a figura a seguir mostra esquematicamente os componentes de uma carcaça de motor elétrico e uma célula de produção para a soldagem desses componentes.



Para soldar os componentes (aletas, alças de suspensão, caixa de ligação etc.) no cilindro da carcaça, essa célula trabalha com dois robôs. O robô da esquerda (robô 1) tem a função de pegar o componente a ser soldado que se encontra sobre uma bancada, posicioná-lo sobre o cilindro da carcaça do motor e segurá-lo enquanto o robô da direita (robô 2) solda o componente.

O cilindro da carcaça chega à célula por uma esteira transportadora e é preso pelas extremidades num dispositivo de fixação giratório. Após a soldagem de todos os componentes, a carcaça é retirada da célula também por meio de uma esteira transportadora.

Nesse caso, além dos movimentos do robô, o computador deve controlar as tarefas de:

- alimentar o cilindro por meio da esteira;
- fixar o cilindro no dispositivo;
- girar o dispositivo de fixação;
- chamar o robô de posicionamento ou o de soldagem;
- retirar a carcaça pronta da célula.

Como você percebeu, para realizar todas essas tarefas com precisão e segurança, são necessários computadores poderosos.

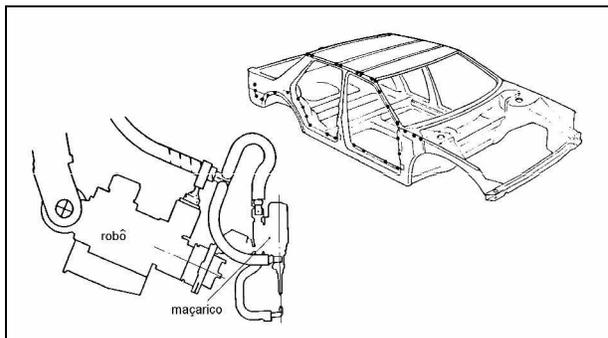
### Ensinando o robô

Como já dissemos, os robôs industriais necessitam de um programa para que possam realizar sua tarefa. Esse programa pode ser escrito numa linguagem própria, capaz de ser entendida pelos robôs, e em seguida ser introduzido na memória do computador que vai controlar seus movimentos.

No entanto, em vez de descrever esse programa, adotou-se um método que se tornou bastante popular na indústria: a programação conhecida como "Teaching" ou "Ensinamento".

Quando estamos ensinando uma criança a escrever, costumamos pegá-la pela mão e fazê-la descrever com um lápis o contorno de uma determinada letra. Fazemos isso várias vezes, para tentar acostamá-la com os movimentos para que possa, em seguida, realizá-los sozinha. Para programar robôs pelo método "Teaching", fazemos uma coisa bastante parecida.

Suponhamos que desejamos fazer com que o dispositivo de solda a ponto mostrada a seguir, montado na extremidade de um robô, execute os pontos de solda na estrutura do automóvel.



Com o auxílio de um painel de controle, chamado de "Teaching Box" ou "Caixa de Ensino", movimentamos manualmente o robô, fazendo com que o dispositivo de soldagem passe por todos os pontos desejados, um de cada vez. A cada ponto, pelo painel de controle, fazemos com que o computador de controle do robô memorize sua posição.

Após completar essa fase de ensinamento, o robô estará então preparado para executar, desta vez sozinho e automaticamente, toda a tarefa.

Como você pode ver, o robô foi mesmo uma mão na roda para as tarefas repetitivas e perigosas da soldagem. Além disso, ele veio atender às necessidades de produtividade e de regularidade nos resultados da soldagem, imprescindíveis para a manutenção de níveis de qualidade que tornem uma indústria competitiva em um mundo de economia globalizada desse fim de século XX.

## Retificação

A retificação é um processo de usinagem por abrasão que retifica a superfície de uma peça. Retificar significa corrigir irregularidades de superfícies de peças.

Assim, a retificação tem por objetivo:

- reduzir rugosidades ou saliências e rebaixos de superfícies usinadas com máquinas-ferramenta, como furadeira, torno, plaina, fresadora;
- dar à superfície da peça a exatidão de medidas que permita obter peças semelhantes que possam ser substituídas umas pelas outras;
- retificar peças que tenham sido **deformadas** ligeiramente durante um processo de tratamento térmico;
- remover camadas finas de material endurecido por têmpera, cementação ou nitretação.

## Retificadoras

A retificadora é uma máquina empregada na usinagem de peças para dar às suas superfícies uma exatidão maior e um melhor acabamento do que os conseguidos em máquinas convencionais.

Os materiais ou peças geralmente precisam ser submetidos a tratamento térmico de têmpera para serem retificados.

## Classificação

Há basicamente três tipos de retificadora: a plana, a cilíndrica universal e a cilíndrica sem centros (center less). Quanto ao movimento, em geral as retificadoras podem ser manuais, semi-automáticas e automáticas. No caso da center less, ela é automática, pois se trata de uma máquina utilizada para a produção em série.

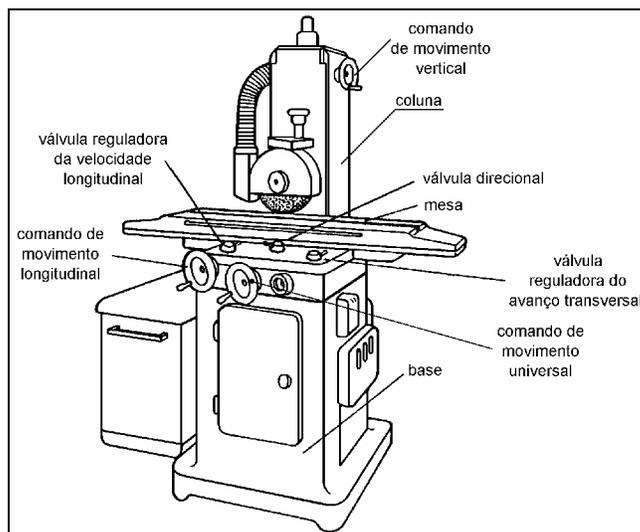
## Retificadora plana

Esse tipo de máquina retifica todos os tipos de superfícies planas: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.

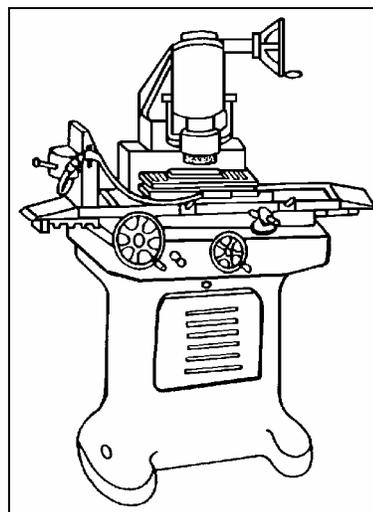
Na retificadora plana, a peça é presa a uma placa magnética, fixada à mesa da retificadora. Durante a usinagem, a mesa desloca-se em um movimento retilíneo da direita para a esquerda e vice-versa, fazendo com que a peça ultrapasse o contato com o rebolo em aproximadamente 10 mm. Há também o deslocamento transversal da mesa. O movimento transversal junto com o movimento longitudinal permitem uma varredura da superfície a ser usinada.

O valor do deslocamento transversal depende da largura do rebolo.

A retificadora plana pode ser tangencial de eixo horizontal e de topo de eixo vertical.



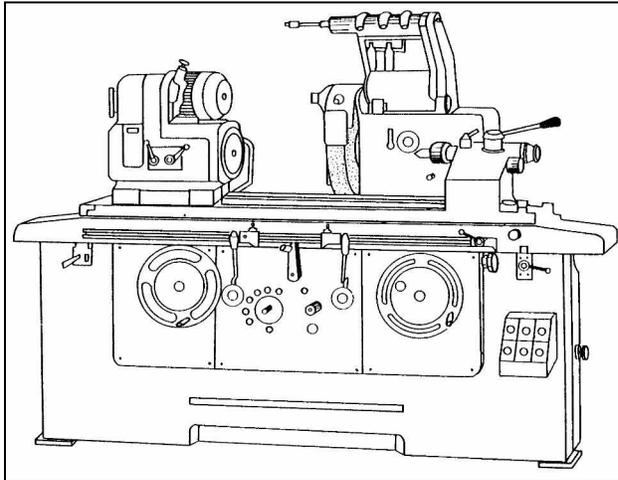
retificadora plana tangencial



retificadora plana vertical

**Retificadora cilíndrica universal**

A retificadora cilíndrica universal retifica superfícies cilíndricas, externas ou internas e, em alguns casos, superfícies planas em eixos rebaixados que exijam faceamento.



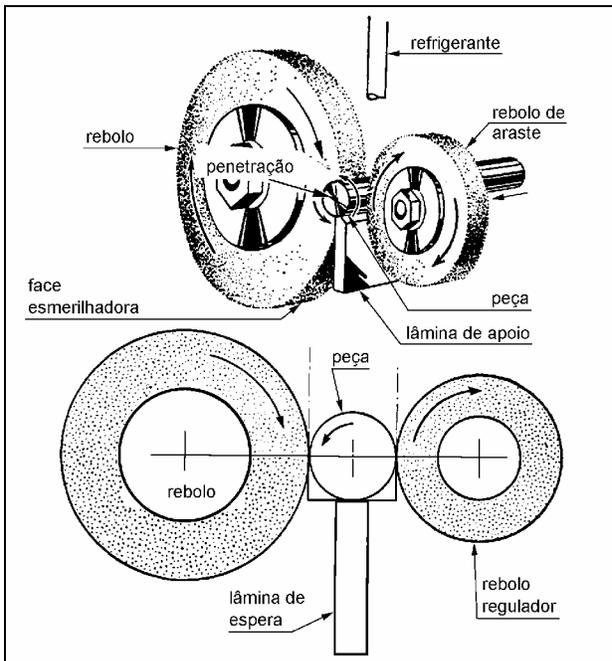
retificadora cilíndrica universal

A peça é fixa, por exemplo, a uma placa universal como a utilizada no torno, que é dotada de um movimento de rotação. O rebolo em movimento de rotação entra em contato com a peça e remove o material.

**Retificadora sem centros (center less)**

Esse tipo de retificadora é muito usado na produção em série. A peça é conduzida pelo rebolo e pelo disco de arraste.

O disco de arraste gira devagar e serve para imprimir movimento à peça e para produzir o avanço longitudinal. Por essa razão, o disco de arraste possui uma inclinação de 3 a 5 graus, que é responsável pelo avanço da peça.



retificadora sem centros (center less)

**Rebolo**

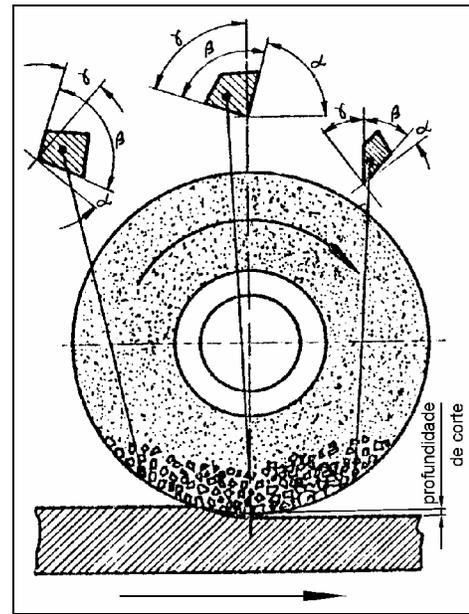
A ferramenta de corte utilizada na retificadora é o rebolo, cuja superfície é abrasiva, ou seja, apresenta-se constituída de grãos de óxido de alumínio ou de carbeto de silício, entre outros.

Por isso, a usinagem com rebolo é designada como um processo de usinagem por abrasão. Trata-se do mesmo sistema empregado pelo dentista quando ele utiliza um instrumento giratório com uma espécie de lixa redonda para limpar ou polir nossos dentes.



rebolo

O desgaste do material a ser usinado é muito pequeno, porque o rebolo arranca minúsculos cavacos durante a operação de corte, quando a aresta dos grãos abrasivos incide sobre a peça.



rebolo (ângulo de ataque negativo)

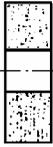
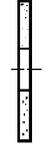
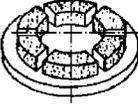
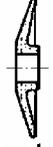
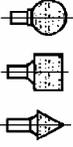
O ângulo de ataque desses grãos é geralmente negativo. Veja a figura acima.

O rebolo apresenta cinco elementos a serem considerados.

- Abrasivo – material que compõe os grãos do rebolo.
- Granulação – tamanho dos grãos abrasivos.
- Aglomerante – material que une os grãos abrasivos.
- Grau de dureza – resistência do aglomerante.
- Estrutura – porosidade do disco abrasivo.

Existem vários tipos e formas de rebolo, adequados ao trabalho de retificação que se deseja fazer e, principalmente, à natureza do material a ser retificado. Veja a tabela.

Tabela - Formas e aplicações dos rebolos

Forma	Aplicação	Forma	Aplicação
 disco reto	Afição de brocas e ferramentas diversas	 copo reto	Afição de fresas frontais, fresas de topo, fresas cilíndricas, machos, cabeçotes porta-bits.
 perfilado	Peças perfiladas	 copo cônico	Afição de fresas angulares rebaixadores, broca de 3 e 4 arestas cortantes, fresas frontais, fresas de topo.
 disco	Afição de machos, brocas	 segmentos	Retificação plana de ataque frontal no faceamento de superfícies.
 prato	Afição de fresas de forma, fresas detalonadas, fresas cilíndricas, fresas frontais, fresas de disco.	 pontas montadas	Ferramenta de corte e estampos em geral.

Para que a superfície retificada apresente exatidão dimensional e bom acabamento, é necessário levar em conta o tipo de material a usinar, o tipo de trabalho a ser feito e o tipo de granulação e o aglomerante do rebolo. Veja abaixo exemplo para a retificação de aço não temperado.

Tipo de trabalho	Tipo de granulação	Tipo de aglomerante
Desbaste	Grossa	Vitrificado
Semi-acabamento	Média	Vitrificado
Retificação fina	Fina	Resinóide, borracha, goma-laca, vitrificado

O aglomerante vitrificado, utilizado na maioria dos rebolos fabricados, está entre 70% e 80% do total.

Quanto à velocidade da mesa, existem as seguintes relações:

**material mole** → maior velocidade da massa  
**material duro** → menor velocidade da mesa

**rebolo de liga vitrificada** → baixa velocidade (até 33 m / s)  
**rebolo de liga resinóide** → alta velocidade (até 45 m/s)

Quanto à dureza do rebolo:

**material mole** → rebolo duro  
**material duro** → rebolo mole

Quanto à estrutura

**Desbaste** → estrutura aberta  
**Acabamento** → estrutura fechada

### Rugosidade

Rugosidades são irregularidades micrométricas que se formam na superfície da peça, durante o processo de usinagem.

Na retificação, elas podem ser causadas por folgas nos eixos, irregularidades no movimento da mesa, desbalanceamento do rebolo e granulação do abrasivo, entre outras causas. Observe no quadro abaixo a relação entre rugosidade ( $R_a$ ), granulação do abrasivo e a profundidade de corte do rebolo.

	<b>Granulação</b> 40 a 60 <b>Profundidade</b> 10 a 30 $\mu\text{m}$
	<b>Granulação</b> 80 a 100 <b>Profundidade</b> 5 a 15 $\mu\text{m}$
	<b>Granulação</b> 200 a 300 <b>Profundidade</b> 1 a 8 $\mu\text{m}$

### Resumo

Nesta aula, você teve as seguintes informações:

- a retificadora é uma máquina que usina peças com a finalidade de tornar uma superfície precisa e com bom acabamento;
- materiais e peças podem ser retificados com ou sem tratamento térmico;

- quanto ao tipo de usinagem a fazer, a retificadora pode ser plana e cilíndrica universal;
- a retificadora plana retifica superfícies planas paralelas, perpendiculares ou oblíquas;
- a retificadora plana pode ser tangencial de eixo horizontal e de topo de eixo vertical;
- a retificadora cilíndrica universal retifica superfícies cilíndricas externas e internas. Em alguns casos, retifica superfícies planas com operação de faceamento;
- o rebolo é a parte central da retificadora. É uma ferramenta abrasiva que gira em alta velocidade, em contato com a superfície a ser retificada;
- o rebolo apresenta cinco elementos: abrasivo, granulação, aglomerante, grau de dureza e estrutura;
- esses elementos devem ser levados em conta para a escolha adequada do rebolo ao tipo de superfície a ser retificada.

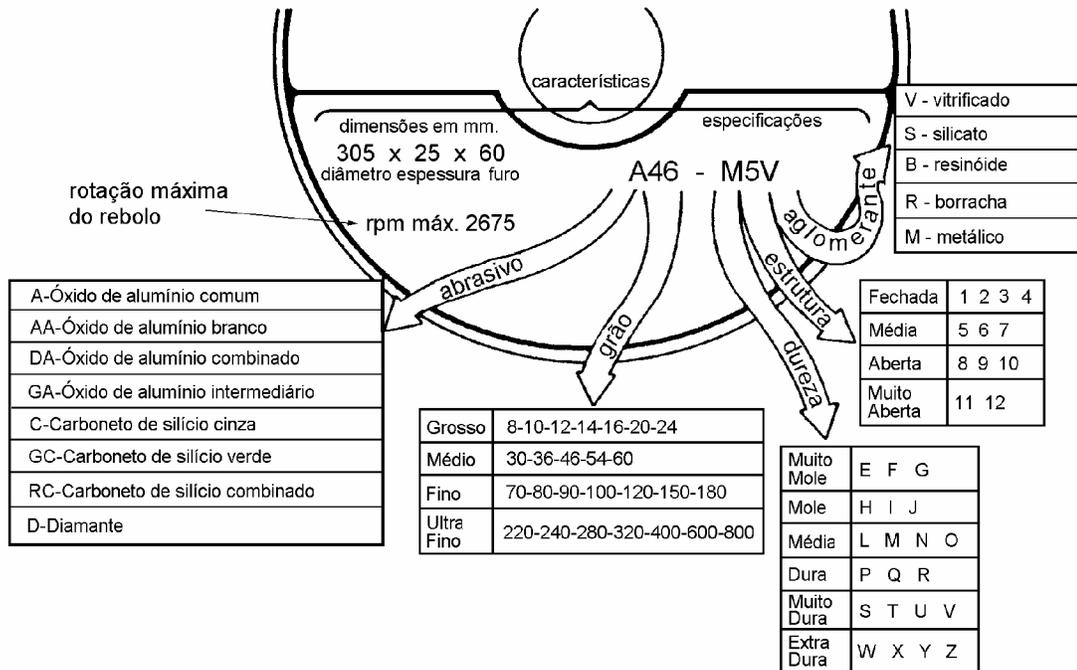
### Preparação da Máquina

#### Procedimentos de preparação da máquina retificadora

Esses procedimentos referem-se à escolha e balanceamento do rebolo, sua montagem na máquina retificadora, à dressagem e medidas de segurança, que devem ser tomadas pelo operador.

#### Escolha e preparação de rebolos

Os fabricantes de rebolos adotam um código internacional, constituído de letras e números para indicar as especificações do rebolo, conforme ilustração a seguir.



Para a escolha do rebolo são levados em conta: abrasivos, grãos, dureza, estrutura e aglomerantes.

#### Tipos de abrasivos

Atualmente, são utilizados para confecção de rebolos grãos abrasivos obtidos artificialmente, já que os de origem natural deixaram de ser aplicados pelo seu alto custo. Os principais são:

**Óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** - Obtido a partir do mineral denominado "bauxita" por um processo de redução, apresenta-se em duas qualidades segundo o critério de pureza conseguida na sua elaboração:

- Óxido de alumínio comum (A) - De cor acinzentada, com pureza química em torno de 96-97%, e tendo como principal característica a sua alta tenacidade, a qual se presta nos casos de retificação de materiais que tenham elevada resistência à tração.
- Óxido de alumínio branco (AA) - Com 99% de pureza, distingue-se pela sua cor, geralmente branca, e com propriedades semelhantes ao óxido de alumínio comum, porém devido a sua pureza e forma de obtenção (cristalizado) torna-se mais quebradiço. Por isso, é empregado em retificações que requerem nível baixo de calor, gerado entre o rebolo e a peça, e ao mesmo tempo boa qualidade de acabamento em superfície com menor tempo de execução. Como o exemplo podemos citar aços-ligas em geral.

**Carbeto de silício (SiC)** - Obtido indiretamente por meio da reação química de sílica pura com carvão coque em fornos elétricos. Este tipo de abrasivo apresenta maior dureza que os óxidos de alumínio, sendo conseqüentemente mais quebradiço. É empregado em materiais de baixa resistência à tração, porém, de elevada dureza. Como exemplo temos: vidros, porcelanas, ferros fundidos (tratados ou não superficialmente), plásticos, alumínio e carbonetos (metal duro).

Esses abrasivos podem ser reconhecíveis, também, pela coloração: **pretos** e **verdes**, sendo este último empregado nas afiações de ferramentas de metal duro; por serem mais quebradiços que os pretos não alteram a constituição do metal duro.

**Carbeto de boro (B<sub>4</sub>C)** - Com características superiores aos anteriores, é pouco empregado na fabricação de rebolo. É utilizado mais comumente em forma de bastonetes para retificação de ferramentas, devido ao seu alto custo.

**Diamante** - Material mais duro encontrado na natureza, é utilizado em estado natural ou sintético na elaboração de rebolos para lapidação.

### Classificação do abrasivo quanto ao tamanho e simbologia

O tamanho do grão (grana) é determinado por meio do peneiramento. O peneiramento é feito através de peneiras sucessivas, com um certo número de malhas por polegada linear.

Exemplo:

- Tamanho de grão 80

Significa que foi obtido através de uma peneira cujo lado tem 1/80 de polegada (aproximadamente 0,32 mm). A tabela a seguir mostra os tipos de grana empregado no mercado:

Muito grosso	Grosso	Médio	Fino	Muito Fino	Pó
6	16	36	100	280	600
8	20	46	120	320	700
10	24	54	150	400	800
12	30	60	180	500	1000
14		(70)	220		1200
		80	240		1600

- Simbologia do grão abrasivo

- A - Óxido de alumínio comum - AA - Óxido de alumínio branco  
 C - Carboneto de silício preto - GC - Carboneto de silício verde  
 DA - Mistura de 50% de óxido de alumínio comum com 50% de óxido de alumínio branco  
 D - Diamantado (C)

**Observação:** Qualquer outro símbolo anexado aos mencionados determinam aperfeiçoamento das fábricas produtoras de grão ou rebolo.

### Aglomerante ou liga

Como já citamos, o elemento aglomerante do abrasivo permite que a ferramenta mantenha a sua forma e resistência, dando-lhe condições de fazer o trabalho desejado e desprender o grão quando ele perder suas características de corte. A proporção e qualidade da liga bem como o abrasivo determinam dureza e grau de porosidade, exigidos pelo tipo de retificação.

As ligas mais empregadas são:

- Vitrificadas (V): feitas à base de mistura de feldspato e argila, são as mais utilizadas, pois não sofrem ataque ou reação química pela água, óleo ou ácidos. São usadas nas máquinas retificadoras com velocidade periférica de no máximo 35 m/s.
- Resinóides (R): são feitos com base em resinas sintéticas (fenólicas) e permitem a construção de rebolos para serviços pesados com cortes frios e em alta velocidade, que nunca deve superar 80 m/s.
- Borracha (R): utilizada em aglomerante de ferramentas abrasivas para corte de metais e em rebolos transportadores das retificadoras sem centro (center less).
- Goma-laca (E) e Oxicloretos (O): atualmente em desuso e só aplicada em trabalhos que exijam cortes extremamente frios em peças desgastadas.

Simbologia das principais ligas:

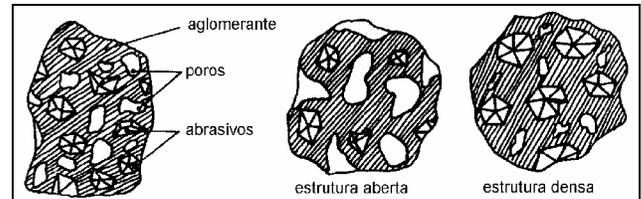
V = Vitrificadas	V = Vitrificadas
E = Goma-laca	E = Goma-laca
B = Resinóides	B = Resinóides

### Grau de dureza

O grau de dureza de um rebolo é a medida do poder de retenção dos grãos abrasivos pelo aglomerante. Um rebolo muito duro retém seus grãos até depois de estes terem perdido a capacidade de corte. Um rebolo muito mole perde seus grãos antes de estes terem executado inteiramente o trabalho. No caso de usinagem de materiais que tendem a empastar o rebolo, deve-se usar um rebolo mole, que solte os grãos com mais facilidade.

### Estrutura

Estrutura é o grau de compactação dos grãos abrasivos no rebolo e refere-se também à porosidade do rebolo.



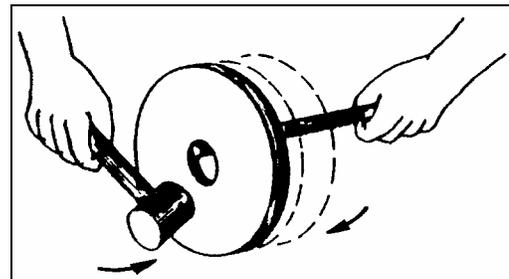
### Balanceamento do rebolo

Depois de escolher o rebolo, é preciso balanceá-lo e dressá-lo. Assim, ele fica bem equilibrado, evita vibrações na retificadora e permite a obtenção de superfícies de acabamento fino.

Vamos ver, de modo geral, como se balanceia um rebolo.

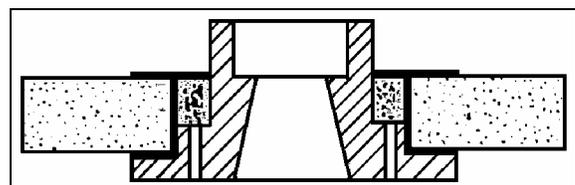
Primeiro, é preciso verificar se o rebolo está trincado. Para isso, é preciso suspender o rebolo pelo furo e submetê-lo a pequenos e suaves golpes, dados com um macete ou cabo de chave de fenda.

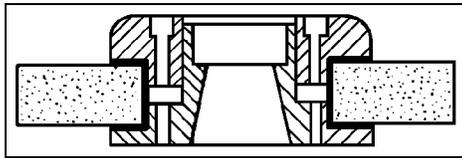
Se o rebolo não estiver trincado, ele produzirá um leve som "metálico". Se tiver trincas, o som será "apagado". Neste caso, o rebolo deve ser substituído por outro em bom estado.



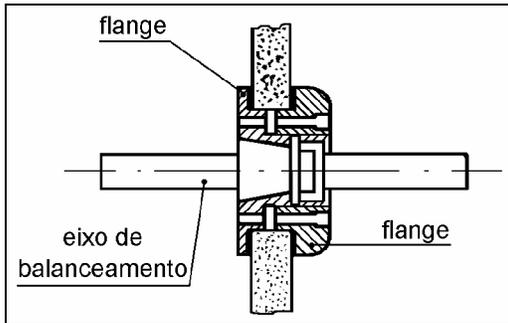
Os rebolos possuem um "rótulo" de papel em suas laterais. Esses "rótulos" não devem ser retirados, pois servem para melhorar o assentamento dos flanges, visto que no processo de fabricação do rebolo, as superfícies ficam irregulares. No momento do aperto dos flanges, sem o rótulo pode ocorrer má fixação ou até mesmo a quebra do rebolo.

Em seguida, o rebolo deve ser montado sobre o flange. Coloca-se o flange superior de maneira que os dois flanges sejam unidos com parafusos de fixação.





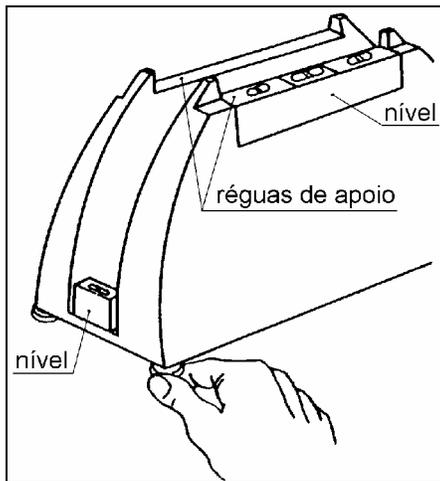
O rebolo, assim preparado, é colocado sobre o eixo de balanceamento e o conjunto rebolo-eixo é assentado sobre as réguas do dispositivo de balanceamento.



rebolo sobre o eixo de balanceamento

O dispositivo de balanceamento deve estar nivelado, para que a inclinação das réguas de apoio não influencie no balanceamento do rebolo.

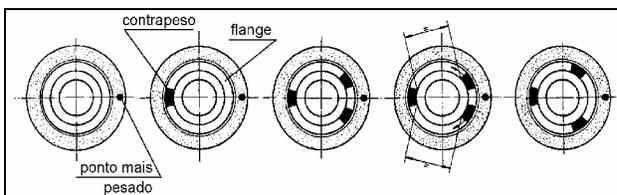
Os flanges possuem ranhuras onde são colocados contrapesos para balancear o rebolo. É como balancear a roda de um carro em que são colocados pequenos pesos.



dispositivo de balanceamento

Esses pequenos pesos podem ser movimentados dentro da ranhura. Se um lado do rebolo estiver mais pesado, ele vai girar ao se colocar o rebolo com o eixo de balanceamento sobre as réguas do dispositivo.

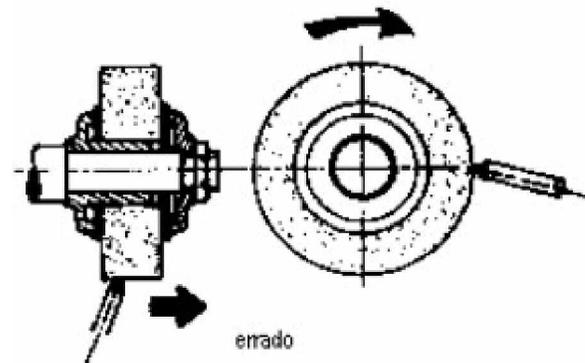
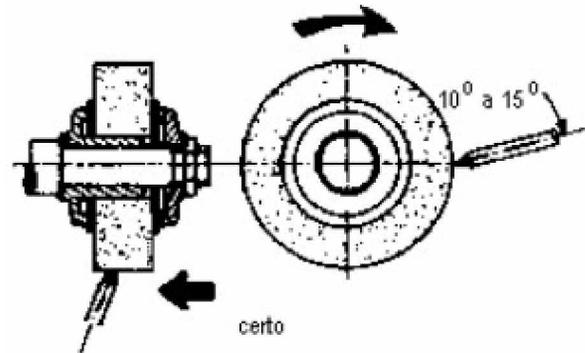
Movimentamos os três contrapesos a fim de equilibrá-los. Quando o peso estiver equilibrado, o rebolo ficará parado em três posições diferentes, a 120°, uma em relação à outra. Nesse momento, o balanceamento está concluído.



Antes de iniciar uma retificação de peças é necessário retificar o rebolo para melhorar as seguintes características: planicidade, concentricidade e superfície cortante. Esta operação de retificação do rebolo também é chamada **dressagem**.

O primeiro passo é fixar bem o rebolo no eixo da retificadora da máquina. Neste momento, deve-se observar também a folga **radial**, que não deve ultrapassar 0,005 mm, e a folga **axial**, a qual não deve ser maior que 0,02 mm. Em seguida, fixamos o diamante de retificação na mesa da retificadora, geralmente com uma placa magnética.

Liga-se o rebolo e faz-se com que ele tangencie o diamante. Nesse momento, é preciso ter muito cuidado, pois a posição do diamante em relação ao rebolo não deve permitir que o rebolo "puxe" o diamante para baixo de si. Caso contrário, isso pode provocar a quebra do rebolo e trazer riscos para o operador.



A dressagem consiste em passar o rebolo inúmeras vezes pelo diamante, com pequenas profundidades de corte e com movimentos lentos de avanços transversais da mesa. As profundidades são de aproximadamente 0,02 mm para o desbaste e 0,05 mm para o acabamento.

Para evitar aquecimento excessivo das peças submetidas à operação, deve-se usar fluido de corte em abundância sobre o diamante e o rebolo.

**Dica tecnológica**

Não ligue o refrigerante antes de ligar o rebolo para evitar que ele se encharque e prejudique o balanceamento.

Outro fator importante a ser considerado na preparação da retificadora consiste na determinação da velocidade de corte do rebolo e do movimento da máquina.

A velocidade de corte do rebolo é de grande importância e depende do tipo do aglomerante. Numa velocidade muito baixa, haverá desperdício de abrasivo e pouco rendimento do trabalho. Uma velocidade de muito alta pode causar rompimento do rebolo.

Geralmente, as máquinas têm rotações fixas que correspondem à velocidade de corte ideal. De modo geral, na prática, são adotadas as seguintes velocidades, segundo o aglomerante:

Aglomerante	Velocidade de corte
Vitrificado	até 33 m / s
Resina	até 45 m / s
Borracha	até 35 m / s
Metálico	até 30 a 35 m / s

Quanto à velocidade do rebolo, também deve ser considerado o seguinte:

- quanto mais alta a velocidade do rebolo em relação à velocidade da peça, menor deve ser o grau do aglomerante;
- os aglomerantes orgânicos (resinóide, borracha, goma-laca) devem ser empregados para velocidades mais altas.

Para manter um rebolo na velocidade periférica, e se sua máquina permitir, aumente progressivamente a rotação por minuto (rpm). Com isso você evita o desgaste excessivo do rebolo.

Deve-se empregar sempre a velocidade indicada pelo fabricante para cada tipo de rebolo.

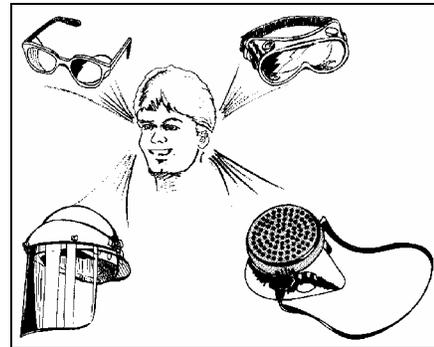
**Prevenção de acidentes**

Na usinagem por abrasão os acidentes são, em geral, causados pela quebra dos rebolos. Este fato se deve a várias causas: ocorrência de trincas durante o transporte ou armazenamento dos rebolos, montagens defeituosas; excesso de velocidade no trabalho, pressão demasiada em rebolo de pouca espessura, contato muito brusco do rebolo com a peça a retificar, uso do rebolo muito duro etc.

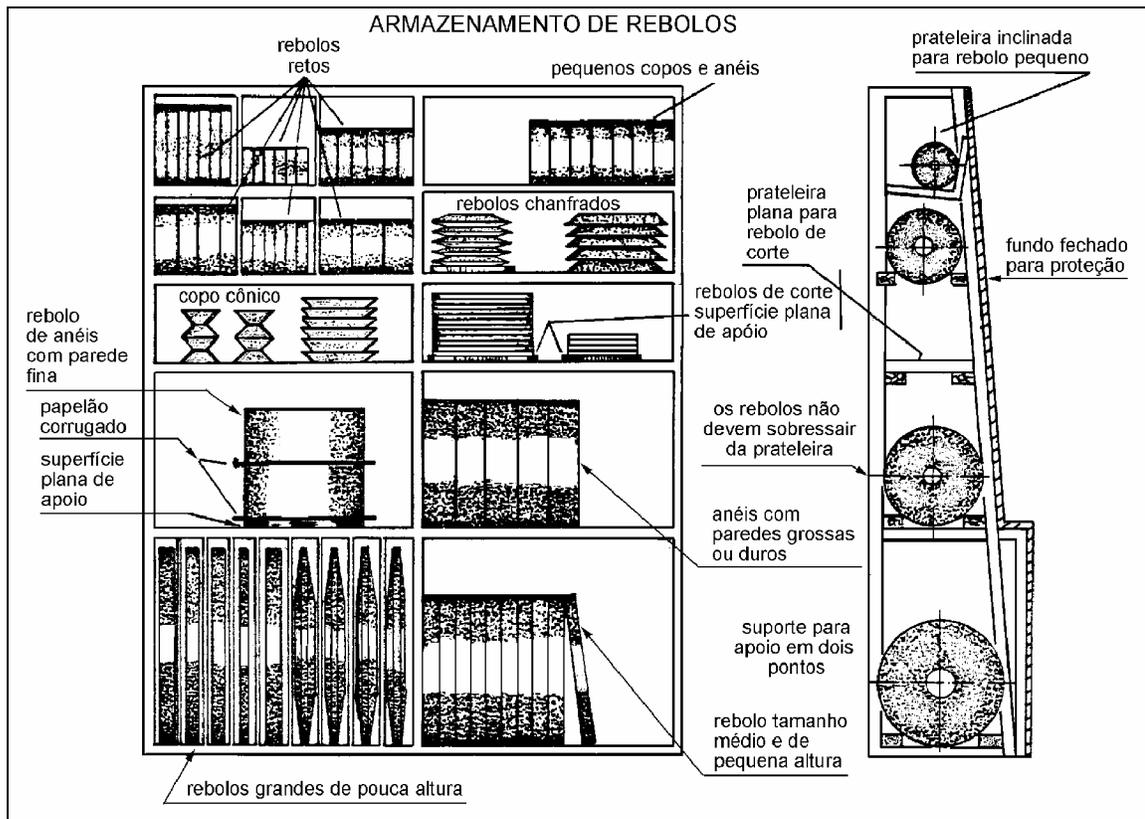
Por isso, são necessárias as seguintes medidas preventivas: antes de qualquer operação, verificar se o rebolo está em bom estado e se ele é adequado ao serviço a ser feito; limpar bem o rebolo e evitar choques e pressões excessivas sobre sua superfície para ele não estourar.

Para prevenir ferimentos, o operador deve observar os seguintes procedimentos:

- ao iniciar a rotação, ficar de lado e não em frente do rebolo;
- usar óculos de proteção;
- em caso de usinagem a seco, ajustar um coletor de aspiração de pó junto ao protetor e usar máscara contra pó, para evitar inalação de poeira, prejudicial ao aparelho respiratório;
- usar luvas durante trabalhos em que a peça for guiada manualmente. O atrito do rebolo produz aquecimento da peça que pode queimar a mão;
- com relação à máquina: dobrar o volante antes de ligar o movimento automático de avanço; não usar roupas soltas; no caso de aparelhagem elétrica, usar um estrado de madeira para isolar o operador.



- não empilhar rebolos, pois eles podem empenar ou quebrar. Além disso, o armazenamento deve ser em local apropriado. Veja a figura na outra página.



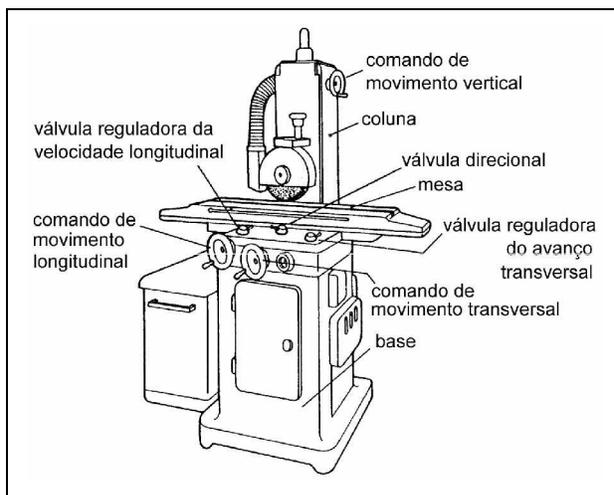
Em caso de acidente, o operador deve proceder do seguinte modo:

- declarar o acidente, relatando como ele ocorreu, o movimento, o lugar e as testemunhas;
- somente permitir a retirada de ciscos dos olhos por pessoa competente, de preferência, médico;
- no caso de queimaduras, limpar a ferida com água oxigenada ou com álcool, fazer um penso úmido e consultar logo o médico.

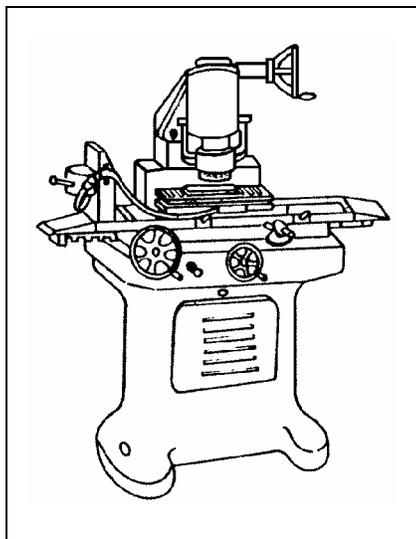
### Retificação Plana

As retificadoras planas retificam peças com quaisquer tipos de superfícies planas: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.

Conforme a posição do eixo porta-rebolo em relação à superfície da mesa da retificadora, a retificadora plana pode ser **tangencial de eixo horizontal** e de **topo de eixo vertical**.

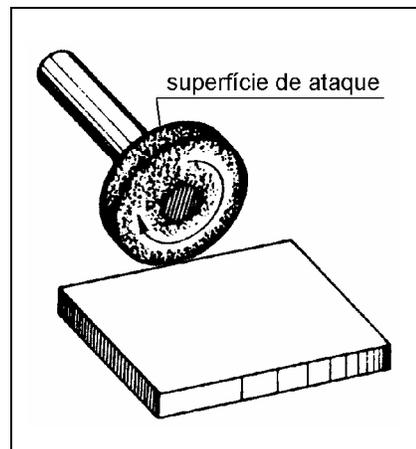


retificadora plana tangencial

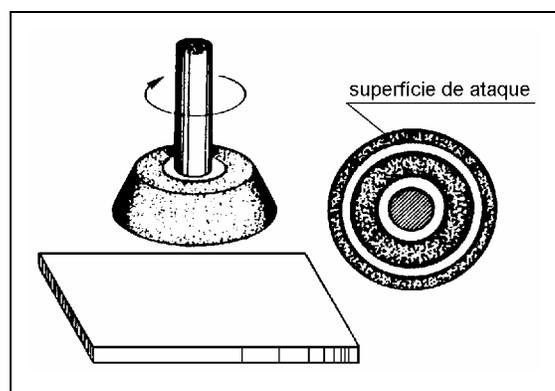


retificadora vertical

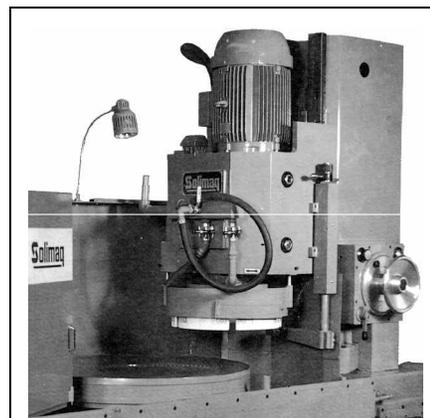
Na retificadora plana tangencial de eixo horizontal, utiliza-se um rebolo cilíndrico (tipo reto plano). Na retificadora vertical, utiliza-se um rebolo tipo copo ou anel, cuja superfície de corte tem, em sua parte plana, a forma de coroa circular. Além disso, é também utilizado um rebolo de segmentos.



rebolo cilíndrico reto



rebolo tipo copo

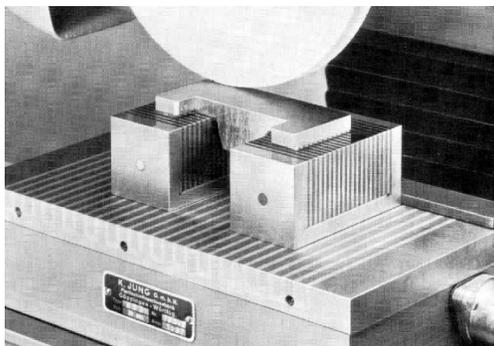


rebolo de segmento e mesa circular

Após a preparação da máquina: limpeza, balanceamento, fixação do rebolo escolhido e dressagem, inicia-se a operação de retificação.

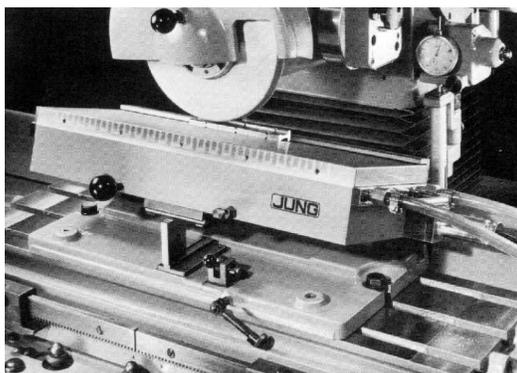
Esta aula visa mostrar como é feita a operação de retificação plana. Antes, porém, é preciso aprender como fixar a peça na retificadora plana.

Há várias formas de fixar a peça. Você pode fixá-la diretamente à mesa, ou pode fixá-la com transpassadores, no caso de peças de formato irregular. Veja ao lado.



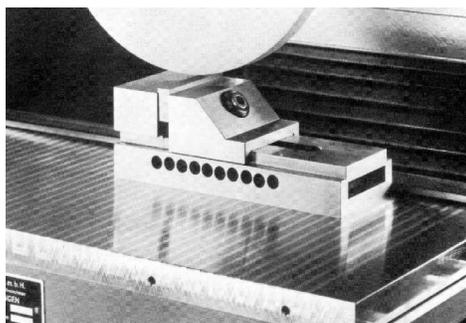
fixação com transpassadores

Outro modo de fixar a peça à mesa da retificadora é por meio de uma mesa de seno magnética. Em geral ela é utilizada na usinagem de superfícies inclinadas.



fixação em mesa de seno magnética

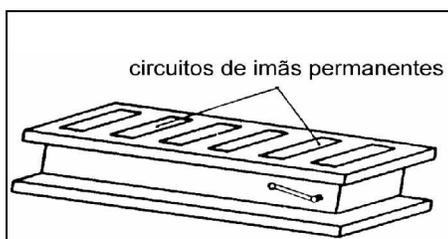
fixação da peça à mesa por meio de uma morsa retificada. Trata-se de uma forma de fixação utilizada na retificação de materiais não-ferrosos



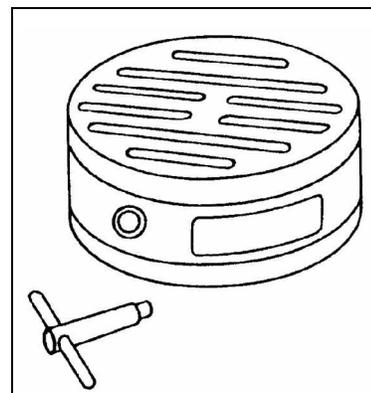
É possível também fazer a fixação em morsa

Além dessas, uma das fixações mais comuns é a feita por meio de placas magnéticas. Trata-se de uma fixação utilizada para retificar peças de materiais ferrosos, que têm a propriedade de serem atraídos por ímãs.

As placas magnéticas podem ter forma prismática (retangular) e cilíndrica.



placa prismática (retangular)



placa cilíndrica

### Retificar superfície plana

Esta operação é feita com mais frequência na retificadora plana tangencial que possibilita fino acabamento nas superfícies de peças como bases, régua etc.

Como medida de segurança, o operador deve usar óculos de proteção e máscara contra pó, no caso de retificação a seco. Também, deve manter as mãos afastadas do rebolo em movimento para evitar acidentes.

### Procedimentos

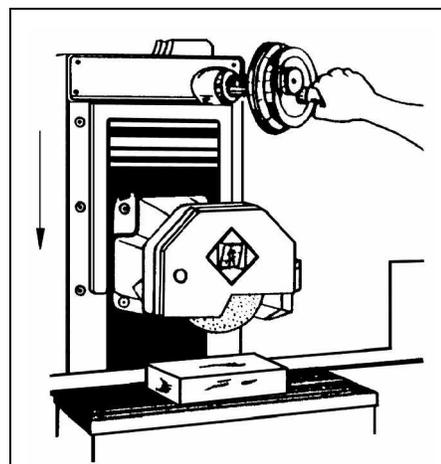
Vamos supor que você queira retificar um bloco de aço. Como proceder?

Lembre-se de que, em primeiro lugar, você deve preparar a máquina conforme foi explicado na aula anterior. Esse preparo consiste de: limpeza da máquina, balanceamento, fixação e dressagem do rebolo, previamente selecionado, na máquina.

Durante a dressagem ou retificação do rebolo, você deve ter o seguinte cuidado: o fluido de corte deve cobrir sempre a área de contato do diamante com o rebolo.

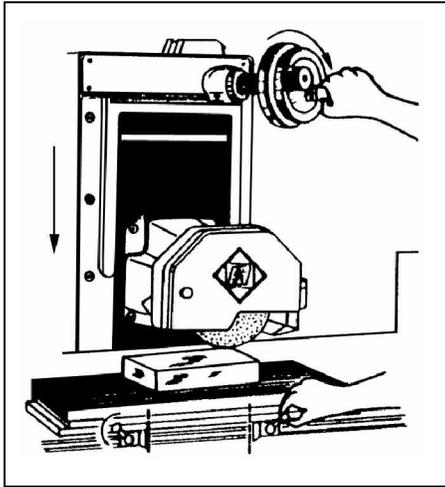
Após a retificação do rebolo, é necessário limpar a superfície da placa magnética com panos não felpudos, de modo a não deixar resíduos do pó abrasivo. Em seguida, coloque o bloco, suavemente, sobre a placa magnética. A superfície do bloco a ser retificada deve ficar para cima.

Fixe a peça na placa magnética e aproxime o rebolo da superfície a ser usinada, movimentando o cabeçote manualmente, mas sem tocar a peça, conforme figura



aproximação do rebolo à peça

A seguir, desloque a mesa manualmente até o rebolo sobrepassar a peça no seu comprimento total, numa distância aproximada de 10 mm de cada lado. Após isso, aperte firmemente os limitadores e ponha o rebolo em funcionamento, mantendo-se de lado para não se acidentar.



rebolo sobrepassando os extremos

Quando o rebolo entrar em funcionamento, acione o movimento da mesa de modo que o rebolo entre em contato com a parte mais alta da superfície do bloco. Leve o anel graduado a zero.

Desloque a mesa na posição transversal e longitudinal até que o bloco fique livre do rebolo.

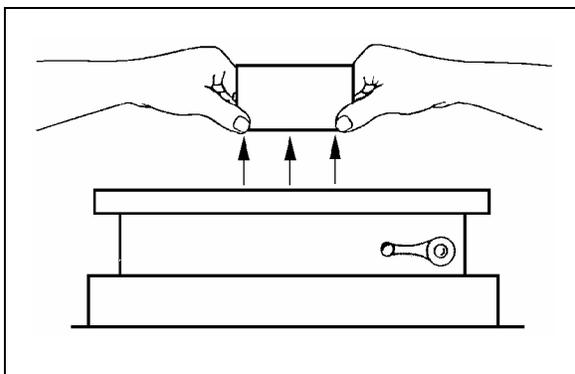
Dê a profundidade de corte e regule o valor do avanço transversal da mesa por passada. Esse valor depende da largura do rebolo.

#### Dica tecnológica

Na prática, usa-se 1/3 da largura do rebolo para a retificação de desbaste e 1/10 da largura do rebolo para retificação de acabamento.

Retifique a peça. Quando a superfície do bloco estiver com o acabamento desejado, desligue a máquina e retire o bloco para conferir as medidas. Mas tenha o cuidado de retirar o bloco só depois que o rebolo estiver **totalmente parado**.

Retire o bloco sem arrastá-lo sobre a placa magnética para que a superfície retificada e a mesa não sejam danificadas.



retirada do bloco retificado

**Observação:** Na retificação de peças de ferro fundido cinzento recomenda-se operação a seco.

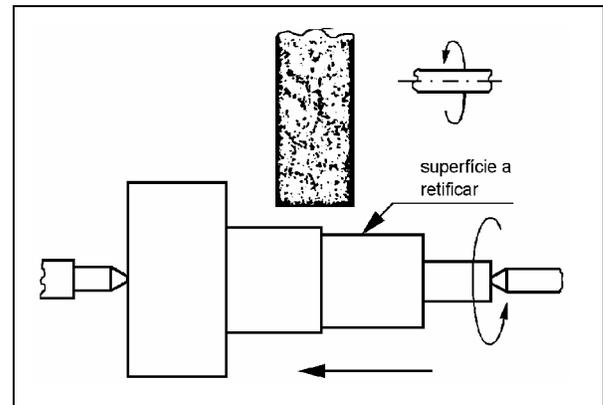
## Retificação Cilíndrica

### Retificar superfície cilíndrica

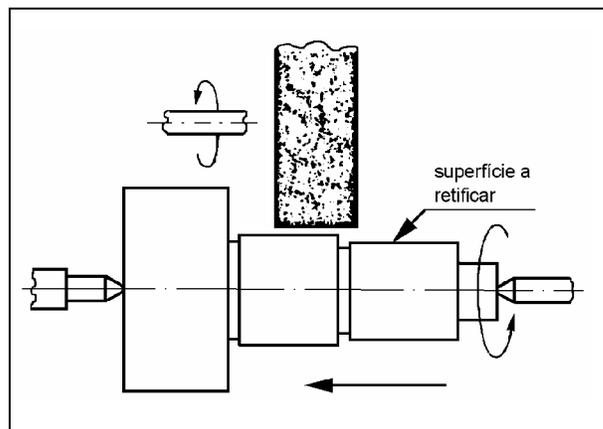
Essa operação tem a finalidade de dar fino acabamento a superfícies de peças cilíndricas, com exatidão de medidas.

O operador deve usar óculos de proteção e, no caso de retificar a seco, máscara contra pó. São medidas de segurança que protegem de possíveis acidentes.

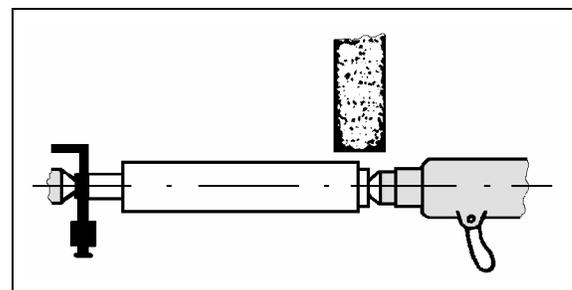
As superfícies cilíndricas externas que podem ser retificadas nesse tipo de máquina são ilustradas nas figuras, a seguir.



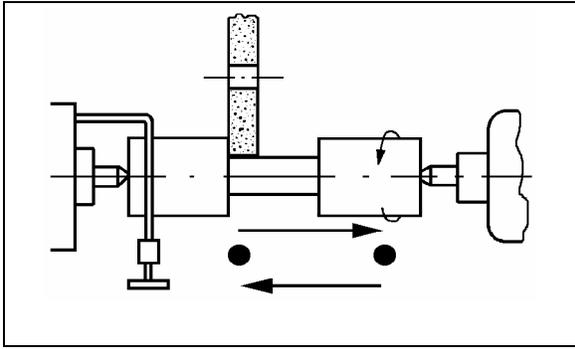
superfície cilíndrica escalonada sem canal de saída



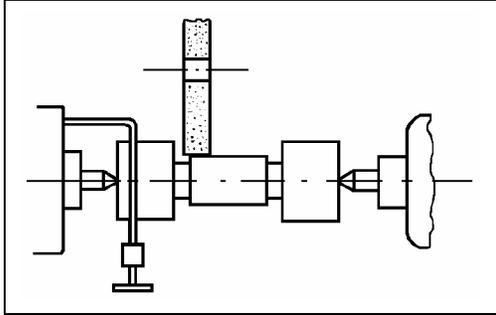
superfície cilíndrica escalonada com canal de saída



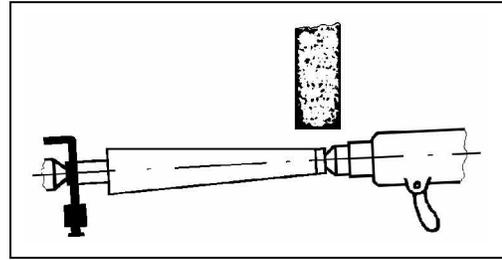
superfície cilíndrica passante



superfície cilíndrica com reflexos sem saída



superfície cilíndrica com rebaixos com saída



superfície cônica

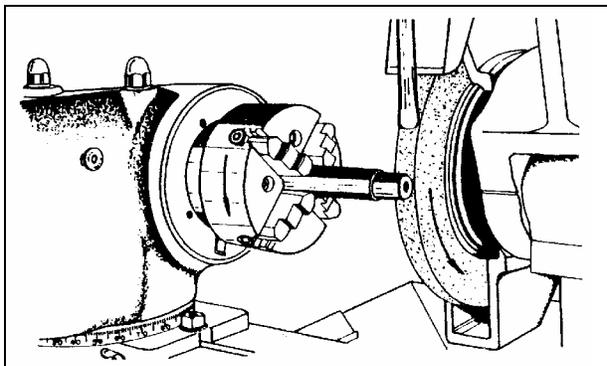
Nas figuras anteriores, você deve ter observado que algumas peças apresentam canal para saída de rebolo. Esse canal pode ter várias formas, mas a norma DIN estabelece dois tipos básicos: E e F. Veja na tabela abaixo as dimensões desses canais.

Rebaixo para saída do rebolo DIN 509														
Tipo E	Com maior resistência a fadiga		Com esforço usual							Tipo F				
	d acima	d até	d acima	d até	R	t <sub>1</sub> +0,1	f	g	t <sub>2</sub> 0,03					
	Não reformáveis		1,6	3	0,2	0,1	1	0,9	0,1					
	Reformável		10	18	0,6	0,2	2	1,4	0,1					
			18	80	0,6	0,3	2,5	2,1	0,2					
			acima	80	1	0,4	4	3,2	0,3					
			18	50	1	0,2	2,5	1,8	0,1					
			50	80	1,5	0,3	4	3,1	0,2					
		80	125	2,5	0,4	3	4,8	0,3						
		acima	125	4	0,5	7	6,4	0,3						
Sobremetal		z	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,3	0,6	0,7	0,8	0,9	10
		G <sub>1</sub>	0,37	0,56	0,75	0,93	1,12	1,49	1,87	2,24	2,61	2,99	3,36	3,73
		G <sub>2</sub>	0,71	1,07	1,42	1,78	2,14	2,85	3,58	4,27	4,98	5,89	6,40	7,12

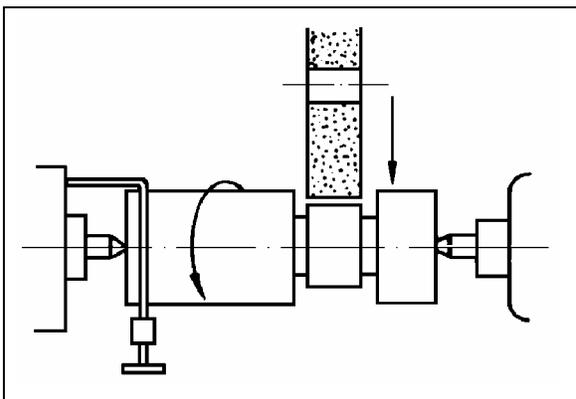
  

		Representação no desenho	
		Y	X
a) Representação com cotagem			
ou			
b) Representação simplificada		Detalhe Y	Detalhe X
(Especificando R x t <sub>1</sub> )		E1×0,2 DIN 509	F1×0,2 DIN 509

Quanto à fixação da peça a ser retificada na máquina, ela pode ser:



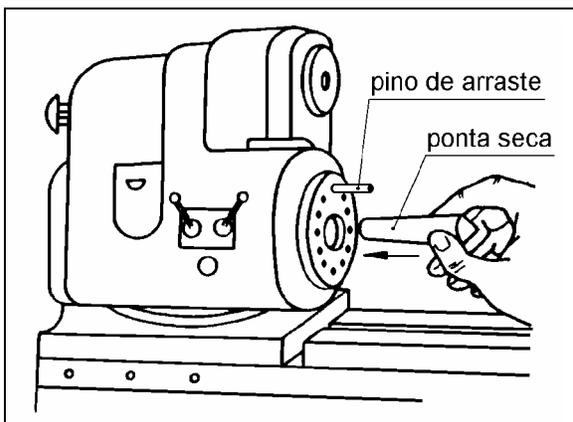
em balanço (para peças de pequeno comprimento e que não podem ter furos de centro)



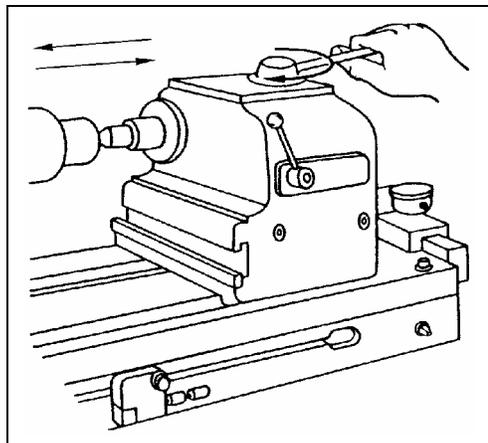
entre pontas com placa de arraste (para peças de grande comprimento, ou peças com rebaixos)

Vamos supor que você queira retificar um eixo cilíndrico de aço com superfície cilíndrica passante. Como você já viu em aulas anteriores, o primeiro passo deve ser a seleção, balanceamento e dressagem do rebolo.

Preparado o rebolo, você vai fixar a peça entre pontas. Para isso, monte a ponta "seca" no cabeçote porta-peças e o pino de arraste na placa lisa, conforme ilustra a figura.

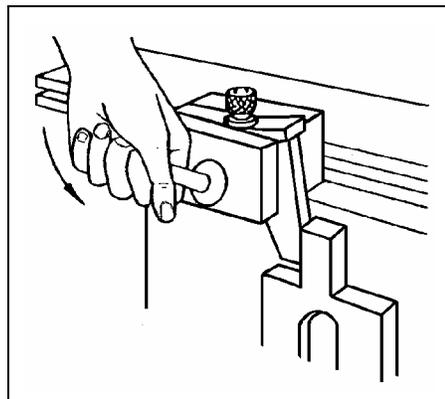


Em seguida, monte o cabeçote contraponta. Na montagem do contraponta sobre a mesa, verifique, antes, se a mesa e a base do dispositivo contraponta estão limpos. Essa limpeza é necessária para evitar desalinhamento da peça.



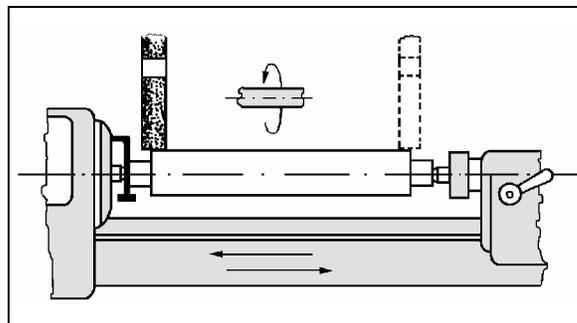
A seguir, fixe a peça entre pontas. Lubrifique com graxa os contatos do contraponta e da ponta com a peça para evitar grimpagem.

Depois, é preciso regular o curso do deslocamento longitudinal da mesa. A regulagem é feita por meio dos limitadores de curso da mesa e tem a finalidade de evitar que o rebolo bata no arrastador e no contraponta.



É preciso ter cuidado para que o rebolo não ultrapasse mais de 1/3 de sua largura nas extremidades da peça.

Esse procedimento pode ser seguido sem que o rebolo esteja em movimento.

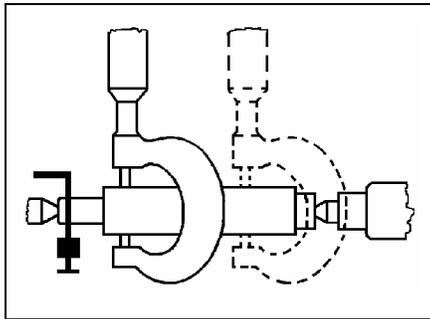


O passo seguinte consiste em regular o paralelismo da peça em relação ao rebolo. Para isso, você deve ligar o rebolo e o cabeçote porta-peças em movimento de rotação. Encoste o rebolo na peça cuidadosamente, zerando o anel graduado de penetração do rebolo.

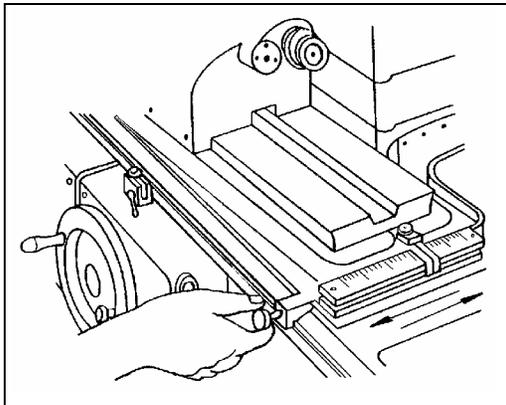
Após esse passo, faça uma pequena penetração do rebolo e ligue o avanço transversal da mesa, dando tantos passes quanto forem necessários para limpar a superfície da peça.

### Dica tecnológica

Para observar melhor o movimento de contato do rebolo com a peça, passe uma camada fina de tinta de traçagem na peça. Depois de limpar a superfície da peça (eixo), você vai medir suas duas extremidades para corrigir o paralelismo da peça.



medindo as extremidades



corrigindo o paralelismo

Após a correção do paralelismo do eixo, dê mais uma passada do rebolo no eixo, com corte de pequena profundidade. Meça o eixo novamente e verifique se o paralelismo foi corrigido. Se foi feita a correção, usine o eixo com passes sucessivos até que fique de acordo com a dimensão desejada.

Se você verificar que a correção não foi feita, faça-a novamente e repita os passes quantas vezes forem necessários.

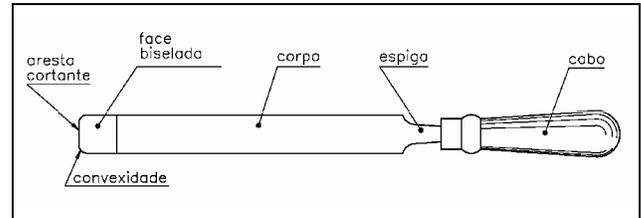
## Processos de Raspagem

### O que é raspagem?

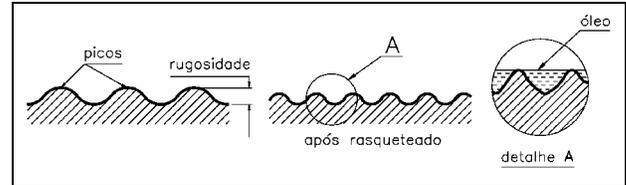
As operações de usinagem com máquinas produzem estrias ou sulcos nas superfícies das peças mesmo quando aparentemente elas estão perfeitamente lisas.

Por outro lado, principalmente na fabricação de máquinas, existem peças cuja superfície deve estar livre de estrias e ter melhorada a qualidade de atrito das superfícies lubrificadas, de modo que estas sejam o mais uniformes possível. É o caso das superfícies planas das mesas de traçagem, das guias de carros de máquinas, dos barramentos e dos mancais de deslizamento, faces de contato de acessórios de fixação como blocos prismáticos, cantoneiras e calços especiais.

Para diminuir os defeitos resultantes da ação da ferramenta de corte, emprega-se a **raspagem**, também conhecida como **rasqueteamento**. Trata-se de um processo manual de **acabamento** realizado com o auxílio de uma ferramenta chamada de **raspador**, ou **rasquete**.



Além de uma superfície perfeitamente acabada, a raspagem aumenta os pontos de contato entre as superfícies que são separadas por pequenos sulcos que proporcionam melhor **lubrificação**, uma vez que ajudam a manter uma película de óleo homogênea sobre elas. Isso diminui o desgaste e aumenta a vida útil de peças sujeitas ao atrito.



Uma das características mais importantes da raspagem é que ela retira partículas extremamente pequenas, cerca de 0,01 mm da superfície da peça. Isso é muito menor do que os cavacos resultantes de um corte com lima.

### Ferramentas e materiais para raspagem

Para realizar a raspagem são necessárias ferramentas, instrumentos e materiais.

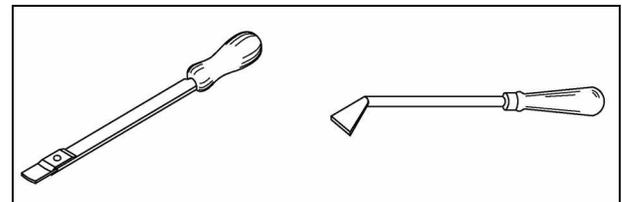


pastilha de metal duro

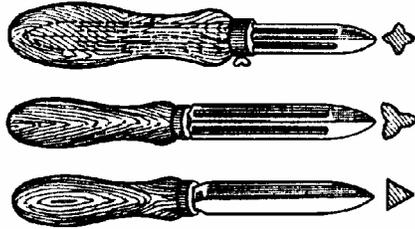
Como já vimos, a ferramenta para a raspagem chama-se raspador (ou rasquete). Os raspadores são fabricados em aço-carbono ou aço-liga extra duro e têm o formato semelhante ao de uma lima. Em sua extremidade prende-se uma pastilha de aço rápido ou de metal duro por meio de grampo ou por soldagem.

Quanto ao formato os raspadores podem ser classificados em:

1. **Raspador chato**, que pode ou não ser curvado, e que é usado para raspar superfícies planas de mesas de máquinas-ferramenta, barramentos de tornos e desempenos a fim de remover pequenas quantidades material de superfícies que já tenham sido usinadas no formato desejado.



2. **Raspador triangular**, que é usado para retirar rebarbas de furos e para a raspagem de superfícies internas de furos de pequeno diâmetro.

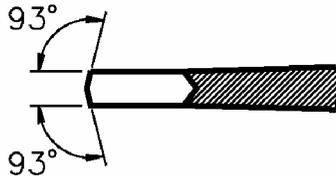


3. **Raspador de mancais**, empregado na raspagem de mancais, para ajustes de eixos e em superfícies côncavas em geral.



*Dica tecnológica*

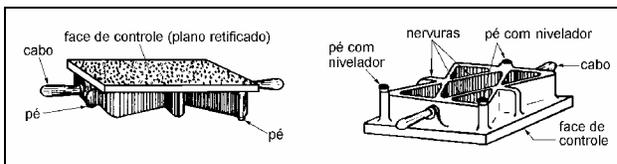
As arestas cortantes dos raspadores têm desgaste rápido e necessitam de afiações freqüentes. Essas afiações são feitas em esmerilhadoras. O acabamento das arestas de corte é feito em uma pedra de afiar. Veja ângulo de afiação na ilustração



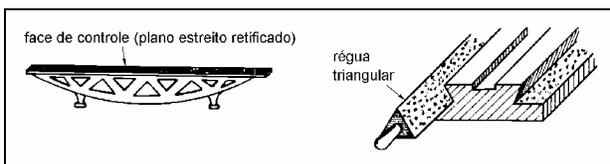
Um equipamento pode ser usado na raspagem: é a ras-queteadeira elétrica na qual se fixa um inserto de tungstênio. Apesar disso, a raspagem contínua, dependendo da habilidade manual do operador.

Além do raspador, são usados instrumentos que servem para controle da raspagem, ou seja servem para verificar, durante a raspagem, se a superfície está se tornando uniformemente plana. Eles são:

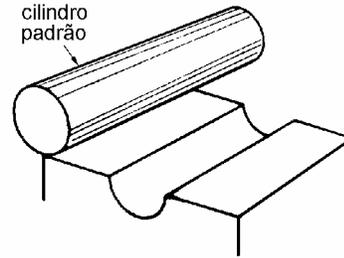
a) Desempeno



b) Régua de controle



c) Cilindro padrão



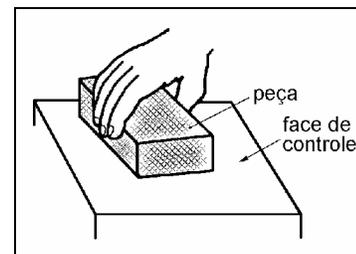
Para que esse controle seja efetivo, é necessário usar tintas de contraste, cuja função é ajudar a localizar, sob a forma de manchas, as saliências que devem ser raspadas. Para isso, usa-se zarcão em pó dissolvido em óleo, ou uma pasta de ajuste, também conhecida como azul da Prússia.

*Etapas da raspagem*

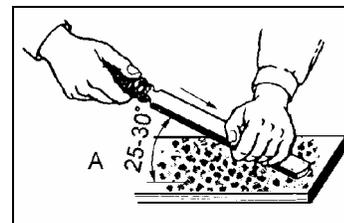
Para a execução da raspagem, é necessário seguir as seguintes etapas:

1. Fixação da peça, se for necessário. Peças de grande porte devem ser colocadas em uma altura conveniente.
2. Escolha do raspador de acordo com o tipo de peça a ser raspada.
3. Seleção do elemento de controle de acordo com o formato da peça e tamanho da superfície.
4. Desbaste para remover rebarbas e eliminar asperezas produzidas pela ferramenta de corte.
5. Localização dos pontos altos da superfície, por meio de aplicação da tinta de contraste sem excessos. Isso é feito cobrindo-se a superfície do elemento de controle com uma fina camada de tinta e espalhando-a, por exemplo, com um rolinho de borracha, semelhante aos rolos de pintura, ou com uma peça plana retificada como um bloco.

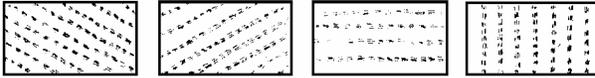
Em seguida, fricciona-se sem pressão a superfície a ser raspada contra a superfície de controle.



6. Execução da raspagem sobre as manchas surgidas durante a fricção das duas superfícies. O raspador deve ser manuseado a um ângulo em torno de 30° em relação à superfície.



Com o raspador, o operador realiza passadas em direções diferentes sucessivamente. Cada golpe do raspador corresponde a um deslocamento sobre a superfície de 5 a 10 mm.



No princípio, as saliências são esparsas ou isoladas. Depois de várias raspagens aparece uma nova série de manchas. Quanto maior é o número de manchas, mais perfeita vai se tornando a superfície raspada.

Como essas saliências vão aparecendo em maior número, à medida que diminuem em tamanho, o operador deve ter critério e prática bastante para julgar o quanto e onde deve raspar.

A raspagem é uma operação muito importante principalmente na fabricação de máquinas, na medida em que a perfeita lubrificação das partes móveis depende muito da raspagem de suas guias. Por isso, é preciso que você a estude com atenção, fazendo os exercícios preparados especialmente para você.

**Anotações:**

# CENTRO PAULA SOUZA

COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

*ETE "Cel. Fernando Febelliano da Costa"*

# TECNOLOGIA

# MECÂNICA

## 3º Ciclo de

## Técnico em Mecânica

---

Apostila baseada nas anotações de Professores  
e do TC – 2000 Técnico – Distribuição gratuita aos Alunos